

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**INFORME DESCRIPTIVO DE TRABAJO PRESENTADO A LA  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS PARA OPTAR EL  
TITULO DE INGENIERO QUÍMICO**

**TITULO:**

**“DETERMINACIÓN DE ORO Y OTROS METALES MEDIANTE  
ANÁLISIS QUÍMICO – METALÚRGICOS QUE OFRECE LA  
EMPRESA JESUS DEL GRAN PODER S.A.”**

**AUTOR:**

**BR. CELIA KARINA PASIGUAN RIVERA**

**PIURA – PERU**

**2014**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**INFORME DESCRIPTIVO DE TRABAJO PRESENTADO A LA  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS PARA OPTAR EL  
TITULO DE INGENIERO QUÍMICO**

**“DETERMINACIÓN DE ORO Y OTROS METALES  
MEDIANTE ANÁLISIS QUÍMICO – METALÚRGICOS QUE  
OFRECE LA EMPRESA JESUS DEL GRAN PODER S.A.”**

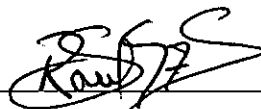
**MIEMBROS DEL JURADO**

**ING. JOSÉ F. MOLERO LÓPEZ, M.Sc.  
Presidente**




---

**ING. RAÚL IZQUIERDO GONZALES  
Secretario**



---

**ING. ELMER ARENAS RÍOS, M.Sc.  
Vocal**



---

Con el amor y agradecimiento de siempre, a mis padres: Segundo y Agapita, hermanos, a Juan María Mora Vásquez, así como a la memoria de mi tía Esperanza Pasiguan.

## **INTRODUCCIÓN**

El presente informe descriptivo titulado “DETERMINACIÓN DE ORO Y OTROS METALES MEDIANTE ANÁLISIS QUÍMICO-METALÚRGICOS QUE OFRECE LA EMPRESA JESÚS DEL GRAN PODER S.A.”, corresponde a mi desempeño laboral en la Empresa “JESÚS DEL GRAN PODER S.A.”, desde octubre del 2010 hasta la actualidad.

Esta empresa se ubica en la Provincia del Oro, Cantón de Portovelo (Ecuador), en la cual hasta febrero del 2014 ocupé el cargo de Supervisora de los Análisis Químico-Metalúrgicos que forman parte de nuestros procesos y de los que realizamos para atender la demanda de otras empresas de la región. A partir de entonces me encuentro laborando como Asistente del Área de Control de Calidad en su sede en Lima, ciudad en la que desarrolla sus actividades como “STHENAROS S.A.C”.

Es un periodo mayor a tres años de labor propia de mi especialidad, pues los análisis y las operaciones de control de calidad que he mencionado, requieren entre otros, de conocimientos de Química Analítica e Instrumental.

En este informe describo los tipos de análisis que han estado bajo mi supervisión y que son encargados a mi empresa, sobre todo, por las empresas del rubro minero que buscan una información de vital importancia, el contenido de sus minerales. Me he circunscrito a tres tipos de análisis que interrelacionan sus objetivos: Determinación de oro total mediante el método Fusión-Copelación, Determinación de oro soluble por el método de Lixiviación con Cianuro – por agitación y, Determinación de oro y otros metales por el método de Absorción Atómica.

Además de los aspectos generales, en cada uno de los capítulos que corresponden a cada método, desarrollo su fundamento teórico, la descripción del proceso y presento casos representativos como ilustración práctica de mi labor.

## **INDICE**

**Pág.**

### **CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES DE LAS EMPRESAS**

<b>1.1.</b>	<b>Antecedentes de la Empresa “Cía. Minera Jesús del Gran Poder S.A.”</b>	<b>001</b>
1.1.1.	Ubicación y tamaño.	
1.1.2.	Servicios y Clientes.	
1.1.3.	Régimen Jurídico.	
1.1.4.	Estructura de la Organización	<b>002</b>
<b>1.2.</b>	<b>Antecedentes de la Empresa “Sthenaros S.A.C.”</b>	<b>004</b>
1.2.1.	Ubicación y tamaño	
1.2.2.	Servicios y Clientes.	
1.2.3.	Régimen Jurídico.	<b>005</b>
1.2.4.	Estructura de la Organización:	

### **CAPÍTULO II: ANÁLISIS QUÍMICO CUANTITATIVO DE ORO TOTAL POR EL MÉTODO FUSIÓN-COPELACIÓN.**

<b>2.1.</b>	<b>Objetivo.</b>	<b>007</b>
<b>2.2.</b>	<b>Rango del Método.</b>	
<b>2.3.</b>	<b>Fundamento Teórico</b>	
<b>2.4.</b>	<b>Acciones de los Reactivos:</b>	<b>008</b>
2.4.1.	Carbonato de Sodio.	
2.4.2.	Bicarbonato de Sodio.	
2.4.3.	Bórax.	<b>009</b>
2.4.4.	Bórax Anhidro.	
2.4.5.	Litargirio.	

2.4.6.	Sílice.	010
2.4.7.	Cloruro de Sodio.	011
2.4.8.	Nitrato de Potasio.	
2.4.9.	Vidrio Molido.	
2.4.10.	Almidón.	012
2.4.11.	Plata Metálica.	
2.5.	Preparación de la mezcla.	
2.6.	Clasificación de los Minerales:	
2.6.1.	Oro en minerales oxidados.	
2.6.2.	Oro contenido en sulfuros con bajos valores en metales básicos.	013
2.7.	Fundición.	015
	• <i>Reacciones de reducción</i>	
	• <i>Reacciones de oxidación</i>	016
2.8.	Copelación.	017
2.9.	Incuartación.	019
2.10.	Separación del oro y plata	
2.11.	Cálculo del contenido de oro	
2.12.	Descripción del Proceso	
2.12.1.	Equipos y materiales	020
2.12.2.	Reactivos	021
2.12.3.	Operaciones del proceso	
2.13.	Casos ilustrativos	032

### **CAPÍTULO III: DETERMINACIÓN DE ORO SOLUBLE, POR EL MÉTODO DE LIXIVIACIÓN CON CIANURO, POR AGITACIÓN.**

3.1.	Objetivo.	036
3.2.	Fundamento Teórico.	
3.2.1.	Antecedentes	
3.2.2.	Aspecto Físico Químico de la Cianuración de Oro	037.
3.2.3.	Mecanismo de Disolución.	038

3.2.4.	Cinética de la Reacción	041
3.3.	Factores que afectan la disolución del oro.	043
3.3.1.	Tamaño de la partícula.	
3.3.2.	Concentración de Cianuro	044.
3.3.3.	Concentración de Oxígeno.	
3.3.4.	Temperatura	046
3.3.5.	Alcalinidad Protectora	
3.3.6.	Compuestos y Elementos Extraños en el Mineral, que influyen en el Proceso de Cianuración	047
3.4.	Descripción del Proceso	051
3.4.1	Equipos y materiales.	
3.4.2.	Reactivos.	
3.4.3.	Normas de seguridad	052
3.4.4.	Operaciones del Proceso.	
3.5.	Caso Ilustrativo	054

#### **CAPÍTULO IV: ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA**

4.1.	Objetivo.	062
4.2.	Fundamentos Teóricos.	
4.2.1.	El átomo y la espectroscopia de absorción atómica	
4.2.2.	El proceso de absorción atómica	064
4.2.3.	Ventajas de la absorción atómica	
4.2.4.	Desventajas de la absorción atómica	
4.2.5.	Espectroscopia atómica basada en atomización por llama	065
4.2.6.	Análisis cuantitativo por absorción atómica	066
4.3.	Descripción de un espectrofotómetro de absorción atómica	067
4.3.1.	Componentes básicos de un instrumento de absorción atómica	

4.3.1.1.	Fuentes de radiación	068
4.3.1.2.	Sistema de atomización	073
4.3.1.3.	Selector de longitud de onda (monocromador)	077
4.3.1.4.	Detector de radiación (Transductor)	078
4.3.1.5.	Procesadores y medidores de señal	079
4.3.1.6.	Dispositivo de lectura	
4.3.2.	Sistema óptico	080
4.3.2.1.	Espectrofotómetros de un solo haz	
4.3.2.2.	Espectrofotómetros de doble haz	
4.4.	Calibración del espectrofotómetro de absorción atómica para su operación analítica	081
4.4.1.	Calibración del sistema óptico	
4.4.2.	Calibración del atomizador y de los gases	082
4.4.3.	Apagado del equipo de absorción atómica	
4.5.	Factores instrumentales que influyen en la sensibilidad de un equipo de absorción atómica	083
4.6.	Procedimiento de trabajo con el equipo de absorción atómica	
4.7.	Determinación del oro en soluciones cianuradas por EAA	087
4.7.1.	Calibración del atomizador y de los gases	
4.7.2.	Principio	
4.7.3.	Reactivos	
4.7.4.	Materiales y equipos	088
4.7.5.	Elementos de Protección Personal	



4.7.6.	Preparación de Standard de Lectura	
4.7.7.	Procedimiento de Lectura de Muestras	
4.7.8.	Control de calidad	089
4.7.9.	Peligros y precauciones	
4.8.	Determinación de Pb, Zn, Cu y Fe en Muestras Geológicas por EAA	090
4.8.1.	Objetivo	
4.8.2.	Alcance	
4.8.3.	Responsabilidad	
4.8.4.	Principio del método	
4.8.5.	Definiciones	
4.8.6.	Equipos y materiales	
4.8.7.	Equipos y materiales	091
4.8.8.	Preparación de estándares de lectura	
4.8.9.	Procedimiento de preparación de muestras	092
4.8.10.	Cálculos para determinación de Pb, Zn, Cu y Fe	093
4.8.11.	Control de calidad	094
4.8.12.	Elementos de protección personal	
4.9.	Reportes de Análisis por EAA en la Empresa	
	“Jesús Del Gran Poder S.A.”	095
	Conclusiones	098
	Recomendaciones	099
	Bibliografía	100

## **CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES DE LAS EMPRESAS**

### **1.1. Antecedentes de la Empresa “Cía. Minera Jesús del Gran Poder S.A.”**

#### **1.1.1. Ubicación y tamaño:**

La empresa “Cía. Minera Jesús del Gran Poder S.A.”, abarca una área de 35 km<sup>2</sup>, ubicada en las estribaciones de la Cordillera Occidental de los Andes, en el Pache Cantón Portovelo al Sur Este de la provincia Del Oro-Ecuador, a 105 km de su capital Machala.

Su planta, en la cual se procesan y benefician los minerales de sus propias concesiones y de otras empresas, tiene una Capacidad Instalada de 250 Tn/día aproximadamente y su Capacidad Operativa fluctúa entre 100 y 150 Tn/día.

Su Volumen de Ingresos Anual Aproximado es de \$ 1 100 000,00 (Un millón cien mil y 00/100 Dólares Americanos).

#### **1.1.2. Servicios y Clientes:**

Los servicios que presta la empresa son: análisis Químico y Metalúrgico de minerales, relaves, carbón activado, soluciones y otros.

En: en Oro, Plata, cobre, Plomo, Zinc, Arsénico, Antimonio, hierro, manganeso. Realizados a través de Ensayos al Fuego y Absorción Atómica

Entre sus principales clientes podemos mencionar a:

- Cía. Amlatminas S.A.
- Cía. Reina del Carmen S.A.
- Cía. Santa Marianita S.A.
- Planta de Beneficio Romero Guzmán.
- Planta de Beneficio Jesús del Gran Poder I.
- Planta de Beneficio COMIVARI.

#### **1.1.3. Régimen Jurídico:**

La Cía. Minera Jesús Del Gran Poder S.A. es una Sociedad Anónima, cuyas actividades se sujetan a las normas y leyes del estado ecuatoriano, como son:

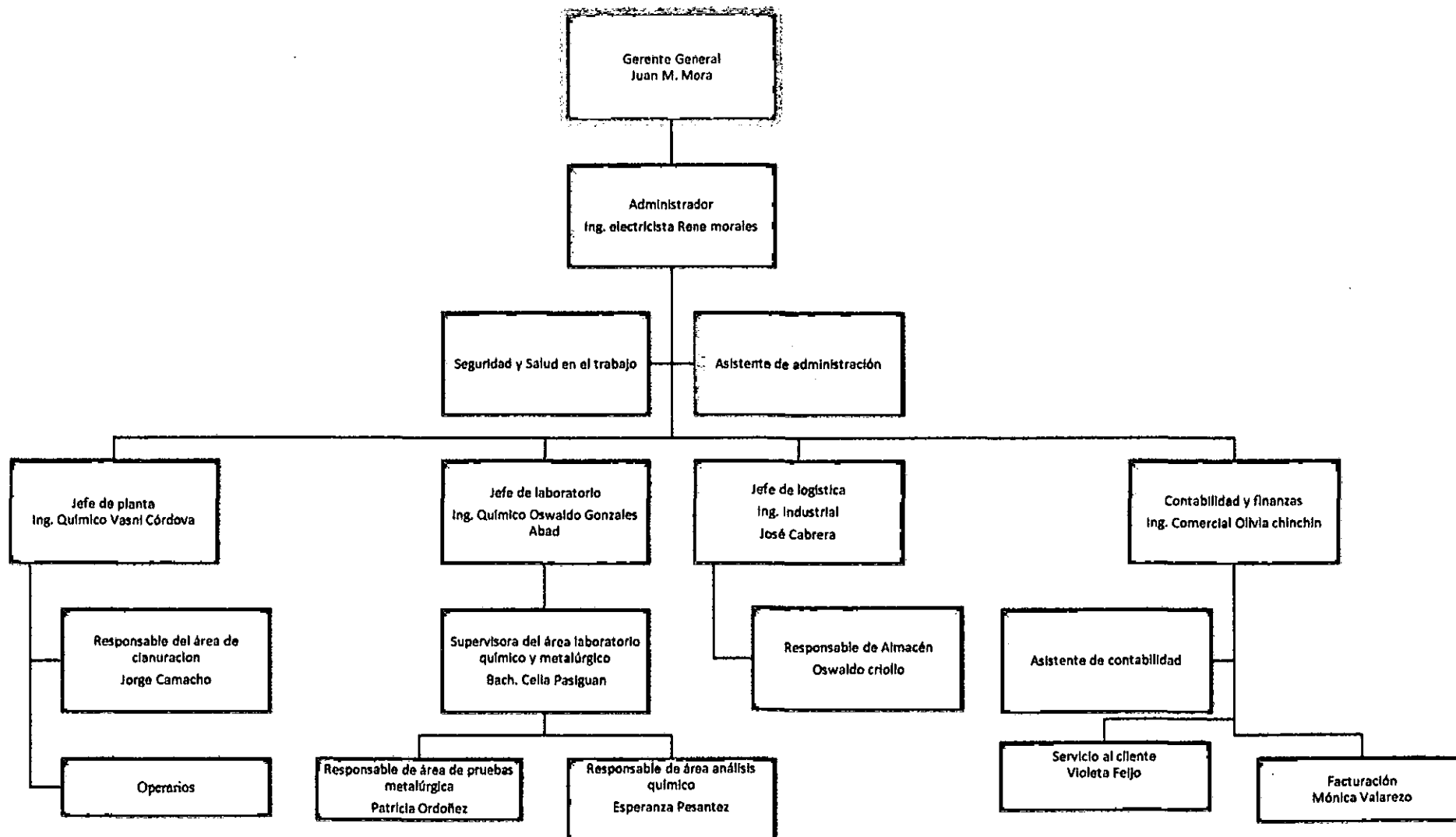
- Ley de Minería.
- Reglamento de la Ley de Minería.
- Ley de Régimen Tributario Interno.
- Reglamento de la Ley de Régimen Tributario Interno.
- Código Tributario.
- Ley del Ambiente.

#### **1.1.4. Estructura de la Organización:**

La compañía cuenta con 10 empleados y 70 obreros que acatan el organigrama presentado en la página siguiente:



# COMPAÑIA MINERA JESÚS DEL GRAN PODER S.A.



## **1.2. Antecedentes de la Empresa “STHENAROS S.A.C.”**

### **1.2.1. Ubicación y tamaño:**

La empresa “STHENAROS S.A.C.”, se localiza en la provincia y departamento de Lima-Perú.

El desarrollo de sus actividades se realiza en dos locales;

- El local “Principal”, situado en calle Marie Curie Mz. M Lt. 9, Urb. Ind. Santa Rosa, Distrito de Ate, en el que se ubica la Planta de Producción con sus áreas de Cerámicos Refractarios, de Mangas Exotérmicas y de Fundición.
- El local “Sucursal” situado en calle 1 Mz, B Lts. 1,2 y 3 Urb. San Francisco, Distrito de Ate y que es el Centro Administrativo de la Empresa.

Sus actividades de producción y de Comercialización le reporta un Volumen de Ingreso Anual Aproximado de \$ 5 000 000,00 (Cinco millones y 00/100 Dólares Americanos).

### **1.2.2. Servicios y Clientes:**

Los servicios que presta la empresa son: comercialización, importación, exportación y fabricación de productos para las industrias Siderúrgicas y metalúrgicas.

#### **Clientes Nacionales:**

- MEPSA.
- CAJAMARQUILLA.
- ROYAL STEEL.
- MINSUR S.A.
- MIN. YANACocha.
- F. CETRAL S.A.
- F. CHILCA S.A.
- HIDROSTAL.
- FUNVESA.
- TECNOFIL.
- FAB. EN HIERRO.
- ACEROS AREQUIPA.
- F. PERÚ.
- MIN BARRICK.
- FUMASA.

- FERROSA.

**Cientes Internacionales:**

- ARGUS S.A. (Bolivia)
- EDUARDO S.A. (Bolivia)
- INSUMET S.A. (Chile)
- FUNDIRECICLAR S.A. (Ecuador)
- ANDEC S.A. (Ecuador)
- JUAN CARLOS RECALDE (Ecuador)
- FUNDINORCIA LTDA. (Ecuador)
- TALME S.A. (Ecuador)

**1.2.3. Régimen Jurídico:**

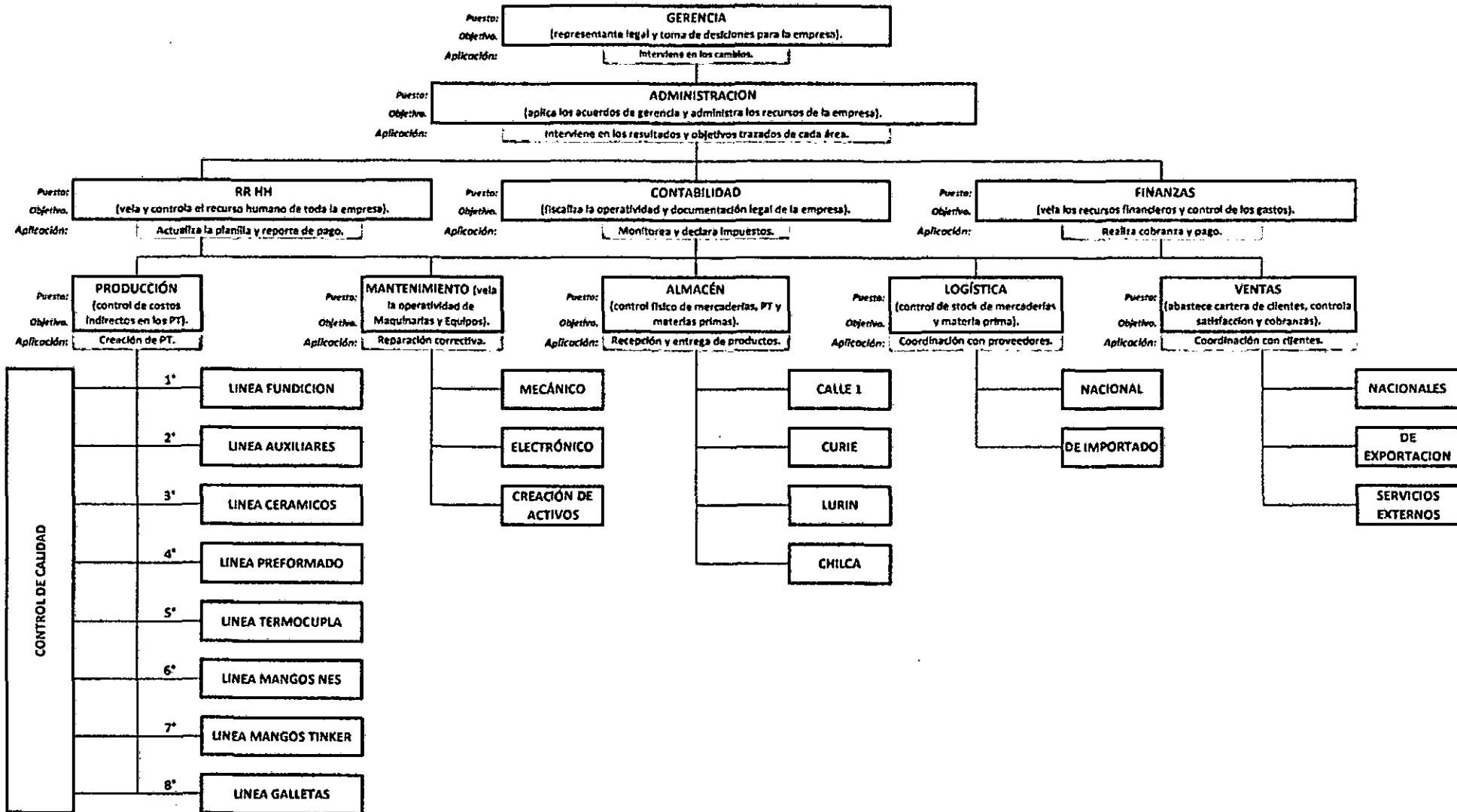
Nuestra empresa STHENAROS S.A.C., que también se identifica por sus siglas “STHENAROS”, es una sociedad anónima cerrada por acciones de responsabilidad limitada que se sujeta a las leyes comerciales y de producción del estado peruano, a saber:

- Ley 29783.
- D.S. 42 F.
- Leyes del Medio Ambiente.

**1.2.4. Estructura de la Organización:**

La empresa cuenta con 27 empleados y 58 obreros circunscritos al organigrama presentado en la página siguiente:

# STHENAROS SAC



## **CAPÍTULO II: ANÁLISIS QUÍMICO CUANTITATIVO DE ORO TOTAL POR EL MÉTODO FUSIÓN-COPELACIÓN.**

### **2.1. Objetivo.**

- Determinar la cantidad de oro total en diferentes muestras aplicando el proceso de Ensayos al Fuego.
- Explicar los fundamentos para determinar la ley de oro de un mineral mediante Método fusión copelación.
- Reconocer los equipos, reactivos e instrumentos necesarios para el ensayo

El método se basa en la obtención del doré (oro y plata) de una muestra por el proceso de fundición y copelación (Ensayos al Fuego), y finalmente cuantificar el contenido de oro mediante la técnica gravimétrica.

La información del contenido de oro total, en caso sea superior a 10 g/Tn, justificará proseguir con los subsiguientes procesos.

### **2.2. Rango del Método.**

El método es aplicable a todo tipo de muestras de minerales (óxidos y sulfuros), muestras de relaves cianurados y de material de flotación incluyendo relave del mismo.

### **2.3. Fundamento Teórico**

En la determinación cuantitativa de los metales preciosos, el método Fusión-Copelación es considerado como un análisis económico, fácil de ejecutar y sobre todo por la fiabilidad de sus resultados, este procedimiento no ha sido sustituido por ningún otro sistema de análisis moderno. En realidad, se trata de un análisis clásico y universal, muy adecuado para la precisa determinación del título del oro en minerales y aleaciones.

Se fundamenta en el hecho de que, en los minerales que contienen oro, éste se encuentra asociado principalmente a óxidos y sulfuros. Estas impurezas y otras de menor presencia, pueden eliminarse fundiendo una muestra con una mezcla de reactivos específica para la composición del mineral. La fusión, con las reacciones que involucra, facilita la concentración y purificación de los metales preciosos que se lleva a cabo en las copelas.



## 2.4. Acciones de los Reactivos:

### 2.4.1. Carbonato de Sodio.

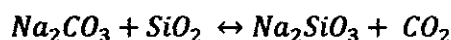
El carbonato de sodio, reactivo poderosamente básico, es considerado un desoxidante y desulfurante. Su fórmula química es ( $Na_2CO_3$ ), se presenta en forma de polvo anhidro, cuya densidad es 2,53 y en estado cristalino su fórmula es  $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ .

Sus propiedades más importantes son:

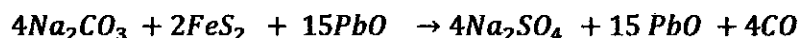
- Soluble en agua.
- Densidad en estado cristalino es 1.45.
- Es higroscópico, o sea que absorbe agua del aire.
- Funde a 850°C y a 950°C se disocia parcialmente, despidiendo dióxido de carbono.

Acción:

Se combina con la sílice del mineral formando silicato de sodio, con desprendimiento de  $CO_2$ , de acuerdo con la siguiente ecuación.

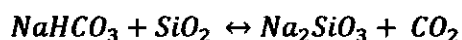
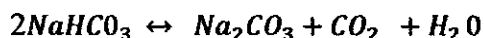


También se combina con la alúmina produciendo fusibles y actúa como agente desulfurante, por ejemplo:



### 2.4.2. Bicarbonato de Sodio.

Se comporta como el carbonato de sodio anhidro, puesto que por la acción del calor se desdobla con la siguiente ecuación.



Acción:

La acción del bicarbonato de sodio produce grandes cantidades de gases, por cuya razón la mezcla fundente tiende a subirse, proyectando partículas de la masa fundida sobre las paredes del crisol o fuera de él. Debe operarse con cuidado a fin de evitarse proyecciones que significan pérdidas. Se evitan agregando sal común en la fundición misma.

#### 2.4.3. Bórax.

El bórax es el tetraborato de sodio, reactivo fuertemente ácido, se presenta bajo la forma de cristales transparentes o como polvo blanco, su fórmula química es  $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ , (contiene 47% de agua).

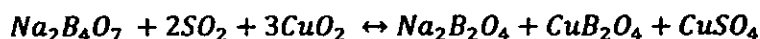
Cuando es calentado por encima de los 60°C empieza a perder agua hasta 350°C, cuando ya se encuentra libre de agua su densidad aumenta a 2.37.

Sus propiedades más importantes son:

- Es soluble en agua.
- En solución disuelve los óxidos metálicos
- Densidad en estado cristalino, 1.71
- En estado fundido sirve de solvente a los óxidos metálicos y demás impurezas.
- Funde a 878°C.
- Al combinarse con los metales facilita su fusión.
- No disuelve el carbón y el grafito,

#### 2.4.4. Bórax Anhidro.

El bórax fundido disuelve, un gran número de óxidos metálicos, como por ejemplo:  $FeO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$ , etc., y además disuelve grandes cantidades de sílice, en presencia de óxido. Por ejemplo:



Se explica el poder de disolución si se examina la fórmula del bórax constituida por dos moléculas de metaborato y un anhídrido bórico



#### 2.4.5. Litargirio.

Propiedades Físicas y Químicas:

- Color: Amarillento.
- Aspecto: Polvo. Olor: Incoloro
- P. fusión: 885 °C

- P. ebullición: 1470 °C
- Solubilidad: 17.2 mg/l agua 20 °C. (Prácticamente insoluble)
- Soluble en: ácido acético.
- Alcalis caliente
- Densidad: 9,5 gr/ml.
- PH 9.9 (en 100 gr agua)
- Sólido No Inflamable y No Explosivo.

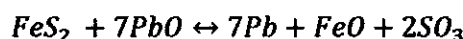
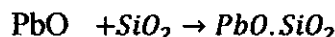
#### Acción:

Es el reactivo más importante en la fundición a nivel de laboratorio. Una parte del litargirio (PbO) se reduce a plomo metálico mediante el almidón o cualquier otro reductor. Desempeña este plomo el papel de colector del oro y la plata contenida en el mineral. El resto del litargirio actúa en parte oxidando el plomo, o también, es muy posible, puede formar plumbatos con los óxidos metálicos.



(Reacción colectora de metales preciosos)

El resto de litargirio actúa oxidando impurezas:

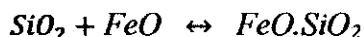


#### 2.4.6. Sílice.

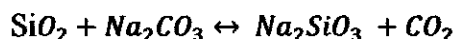
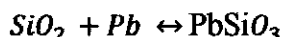
Es un reactivo de propiedades ácidas, se suministra en forma de polvo blanco, produce una escoria fluida. Se combina fácilmente con los óxidos metálicos, especialmente con el óxido de hierro. Protege al crisol de la acción corrosiva del litargirio y el bórax.

#### Acción

La sílice actúa como un escorificador del fierro principalmente.



Reacciona además con el PbO;  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; etc.



#### 2.4.7. Cloruro de Sodio.

Es la conocida sal de cocina o sal común, NaCl, cuya densidad es 2.17, se encuentra en forma de cristales incoloros.

Sus principales propiedades son:

- Soluble en agua.
- Temperatura de fusión 800°C.
- Es higroscópico.

Acción:

Generalmente es usado en la fundición del oro a fin de eliminar las impurezas en forma de cloruros.

Se usa como cubierta de fundición, por ser muy fluida y no se descomponerse al estado de fusión.

#### 2.4.8. Nitrato de Potasio.

La más conocida como sal de nitro, es un poderoso reactivo oxidante, se presenta en la forma de cristales incoloros, cuya densidad es 2.1.

Sus principales propiedades son:

- Es soluble en agua.
- Temperatura de fusión 339°C.
- Se descompone cerca a los 400°C, liberando oxígeno.
- La gran desventaja de su uso es de oxidar la plata y causar la ebullición del baño.
- Generalmente es utilizado para purificar aleaciones de oro.

Acción:

Se usa como oxidante en los minerales piritosos, (muestras sulfuradas).

Se prefiere siempre el nitrato de potasio respecto al nitrato de sodio por no ser higroscópico.

#### 2.4.9. Vidrio Molido.

Se utiliza en esa forma a fin de facilitar el contacto con los óxidos y escorificarse. Efecto y funciones muy similares a la sílice, por ello en algunos lugares preferiblemente se utiliza la sílice.

#### 2.4.10. Almidón.

Ayuda a reducir los metales, o sea a convertir los óxidos metálicos a metal propiamente dicho.

#### 2.4.11. Plata Metálica.

Se usa plata metálica, pura en granallas, para cuartear los análisis del oro a fin de obtener así una aleación de oro y plata con un exceso de este último metal, para poder separar bien el oro de la plata que contenga el mineral.

Es necesario recordar que la plata es un metal que acompaña siempre al oro en los minerales en mayor o menor proporción.

### 2.5. Preparación de la mezcla:

Se debe preparar la mezcla del mineral y el flujo necesario para fundirlo. Esto es indispensable, pues aun cuando todos los minerales poseen casi los mismos componentes, hay algunos componentes que predominan más que los otros, lo que determina un tratamiento especial para cada muestra.

### 2.6. Clasificación de los Minerales:

Clasificaremos los siguientes grupos:

#### 2.6.1. Oro en minerales sulfurados

*Sulfuro de hierro.* La pirita es el mineral más común que puede llevar oro asociado. Dependiendo del desarrollo geológico del yacimiento, dicho oro puede ser liberado por molienda más o menos fina. O estar diseminado como inclusiones a veces de tamaños de micra, haciendo al mineral refractario a los procesos normales. De gran importancia es el contenido de azufre, aumentando las dificultades con su incremento, y pudiendo estas asociado el oro a la pirita y/o ganga.

Un caso particular lo constituye la pirrotita,  $Fe_{1-x}S$  (X entre 0 y 29), que ha sido objeto de bastante investigación. Un tratamiento previo de oxidación, mediante una preaireación con cal, permite la cianuración de tipo de asociación.

*Sulfuros de arsénico y antimonio.* Normalmente son especies mixtas de pirita y arsenopirita. Según Gasparrini(1982), el oro más que en soluciones sólidas, se encuentra asociado a los granos de sulfuros de forma finísima, a veces menos de una micra, imposible de detectar por los métodos normales de microscopía.

*Sulfuros de Cobre.* Normalmente la Calcopirita se encuentra asociada con mayor o menor contenido de pirita, y el oro, muy fino, puede estar bordeando o incluido ambas especies.

*Otros Sulfuros.* El oro se encuentra asociado, de manera similar a la descrita con pirita, arsenopirita y calcopirita, con otros sulfuros principalmente Galena, blenda calcosina, covelina, niquelina, etc.

#### 2.6.2. Oro en minerales oxidados

En un mineral oxidado, el material del mineral ha sido oxidado o erosionado, posiblemente en un área que es atípica de los yacimientos sulfuros primarios, y para los cuales se requiere algún tipo de procesamiento especial.

La oxidación y otros procesos de alteración hidrotermal llevan a la descomposición de la estructura de la roca, lo que causa un aumento de la permeabilidad. Esto usualmente permite que se obtenga altas extracciones por lixiviación mediante la lixiviación en pilas de un mineral directo de mina; aunque, el tamaño de las partículas de mineral puede ser muy grueso.

Una característica perjudicial de la oxidación y alteración de la roca es la formación de importantes cantidades de sílice hidratada, amorfa y/o pobremente cristalina, minerales de arcilla, sales de sulfato y fases ganga de óxido e hidróxido. Algunas de estas fases tienen solubilidad relativamente alta en comunicación y lixiviación con cianuro; y puede servir como fuentes cianicidas (consumidores de cianuro) debido a la formación de áreas extremadamente grandes y de fresca superficie con un alto potencial de absorción. Otras fases, como los minerales de arcillas y sílice amorfa, pueden afectar el procesamiento en gran medida

El oro usualmente se presenta liberado o asociado a los productos de la alteración de la pirita y otros minerales sulfurados; los más comunes son óxidos de hierro como la *hematita*  $Fe_2O_3$ , *magnetita*  $Fe_3O_4$ , *goetita* ( $FeOOH$ ) y *limonita* ( $FeOOH \cdot nH_2O$ ); aunque el oro también pueden asociarse a los óxidos/hidróxidos de manganeso.

Generalmente, el grado de liberación del oro se incrementa mediante la oxidación, sin embargo en algunos casos, pueden encontrarse revestimientos de protección de óxidos secundarios e hidratos de oro. Las placas 4 a 6 muestran ejemplos de oro recubierto con óxido de hierro u óxidos hidratados. Dichos granos de oro no se habrían disuelto en soluciones de cianuro, pero serían lo suficientemente gruesos para ser recuperados mediante concentración gravimétrica.

Los minerales oxidados difieren de los minerales primarios en que la gran proporción de finos usualmente se generan por los procesos de chancado y molienda o durante la lixiviación en pilas; debido al hecho de que la arcilla y los minerales que forman la arcilla son más abundantes. La presencia de arcillas como pirofilita  $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ , talco ( $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_8$ ), caolinita ( $Al_2Si_2O_7(OH)_4 \cdot nH_2O$ ) y montmorillonita ( $Al_2Si_4O_{10}(OH)_4 \cdot nH_2O$ ) pueden tener importantes implicaciones en los procesos, por ejemplo:

- Disminución de la permeabilidad del material lixiviable en pilas o en botellas
- Incremento en la viscosidad de pulpa en el procesamiento (p.e. cianuración o proceso de carbón en pulpa [CIP], causando un incremento en los requerimientos de energía para la mezcla de pulpa y/o una menos eficiente reacción química.
- Los minerales carbonatos como calcita ( $CaCO_3$ ), dolomita ( $CaMg(CO_3)_2$ ), siderita ( $FeCO_3$ ), también son abundantes en minerales oxidados. Estos pueden afectar el control del  $pH$ , especialmente durante los procesos de pre-tratamiento oxidativo.

## 2.7. Fundición:

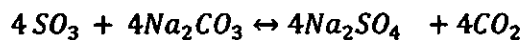
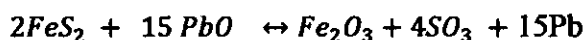
Este proceso es de suma importancia. Para fundir el mineral con la mezcla de reactivos necesarios, de la que ya hemos hablado, se usa un crisol de arcilla siendo el más aconsejable para análisis de oro los crisoles número 8 y para los análisis de plata los crisoles número 6.

Estudiaremos brevemente las reacciones que se efectúan en la fundición de los minerales a los que se les ha agregado el flujo de flux correspondiente:

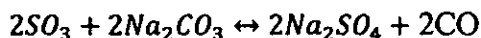
### *Reacciones de reducción:*

Los sulfuros como la pirita  $FeS_2$ , la ferrotita  $Fe_7S_3$ ; la arsenopirita  $FeAsS$ ; la calcopirita  $Cu_2S$ ; estibinita  $Sb_2S_3$ ; la galena  $PbS$ ; la blenda  $ZnS$ ; y otros reducen el litargirio a plomo metálico. Las diferentes reacciones de reducción experimentan ciertas variaciones según sea el flujo de fundición empleado, como podemos observar considerando la pirita, como ejemplo:

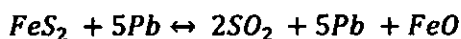
- En presencia de litargirio y  $Na_2CO_3$



- En presencia de menor cantidad de litargirio y menor cantidad de  $Na_2CO_3$

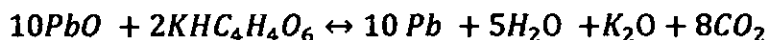


- En presencia de litargirio y ausencia de carbonato de sodio no se forma sulfato.

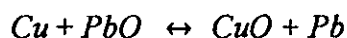


En presencia de litargirio y carbonato de sodio los diferentes sulfuros reducen el litargirio a plomo metálico en las proporciones adecuadas.

El tartrato de potasio y el almidón reducen también el litargirio a plomo metálico.

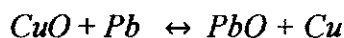


Mediante las reacciones de reducción que se efectúan en la fundición, muchas de las impurezas metálicas se reducen a metal y pasan a impurificar el botón de plomo auro-argentífero al estado elemental, como se observa en la siguiente ecuación.





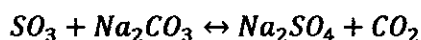
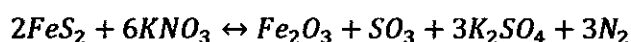
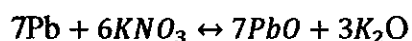
Pero el óxido de cobre en contacto con el plomo fundido se reduce a Cu elemental:



#### *Reacciones de oxidación:*

Es indispensable la oxidación de las impurezas para que forme la escoria con los reactivos de la fundición y no se pasen al botón de plomo.

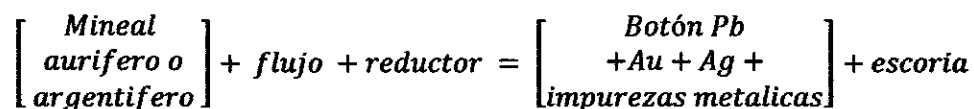
La oxidación puede verificarse en la fundición misma, añadiéndose nitrato de potasio:



La operación ha terminado cuando se observa un círculo brillante y la masa líquida se muestra quieta. Este círculo es llamado “ojo de buey” por la semejanza que ofrece a ese órgano. Se retira entonces lentamente el crisol, operando con mucho cuidado, usando tenazas largas, y se vacía sobre el molde de una lingotera. Una vez fría se rompe la escoria y se retira el botón de plomo, que ha eliminado todo el cobre en la escoria. Esta escoria suele presentarse de un hermoso color verde.

Como se ha visto, por las reacciones que hemos anotado, el proceso de fundición tiene por objeto concentrar el oro y la plata en un botón de plomo. Este último metal actúa como colector de esos metales preciosos. Además, este proceso elimina las impurezas que acompaña a estos metales en los minerales en forma de compuestos oxidados en la escoria. Esta escoria está formada, además, por boratos, silicatos y plumbitos de metales alcalinos, alcalinos térreos y otros.

Podemos resumir este proceso de fundición en la siguiente forma esquemática:

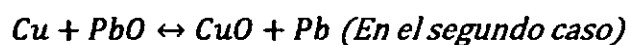


## 2.8. Copelación.

El proceso de copelación tiene por objetivo la oxidación del plomo y de las otras impurezas metálicas existentes, que mezcladas con mayor o menor cantidad de PbO, son absorbidas por la copela. Las copelas son fabricadas de ceniza de hueso y magnesita. Se utiliza para separar el oro y la plata del plomo que han actuado como colector, y además de las otras impurezas metálicas que generalmente acompañan al botón auro-argentífero.

El 98% del PbO es absorbido por la copela, el resto se volatiliza. Queda de residuo un botoncito brillante, formado por los metales no oxidables, como son el oro, la plata y el platino.

Las impurezas metálicas que acompañan al botón de plomo auro-argentífero puede ser oxidadas directamente por el oxígeno de aire, para cuyo objetivo, al iniciarse la copelación, se entreabre un poco la puerta de la mufla, o bien son oxidadas por intermedio del PbO como puede verse en la siguiente ecuación:



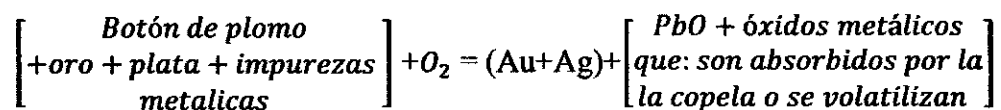
Algunas impurezas como Cu, Fe, Cd, etc. Son eliminados totalmente por absorción en la copela, siempre que se encuentren en cantidades que no impidan la realización del proceso de copelación. En cambio otras, como el Bi, As, Zn, etc. Se eliminan en parte por absorción en la copela y en parte por volatilización al estado de óxido.

Según sean las impurezas metálicas, varían algunas propiedades reconocidas de inmediato, como son: dureza, maleabilidad, etc.

Al cubrir el botón de plomo a fin de eliminar la escoria adherida, se puede observar:

- Botón quebradizo: Indica que contiene zinc, arsénico, antimonio, azufre, PbO (por fusión a baja temperatura). O bien que contiene más 30% de oro o plata.
- Botón duro: Indica que contiene cobre, en cantidad apreciable Fe, etc.

Resumiendo este proceso podemos expresar por la siguiente ecuación.



*Observaciones al proceso de copelación.*-Es necesario que indiquemos aquí algunas observaciones que serán muy útiles para quienes deban controlar un proceso de copelación:

- **Perdidas de copelación.**-las pérdidas por copelación se deben a pérdidas por volatilización, debido a temperaturas demasiado elevadas, al arrastre de partículas por las sustancias volátiles y a pérdidas por absorción y retención en las escorias formadas, debido a las impurezas metálicas que contiene el botón de plomo auro-argentífero.

Las primeras se reducen a un mínimo despreciable controlando la temperatura de copelación  $950\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

En cuanto a las segundas, se evitan eliminando las impurezas en la fundición o antes de ella, mediante los métodos que hemos indicado anteriormente al clasificar los minerales. (calcinación fuerte, flujos especiales, escorificación, oxidación con nitrato de potasio).

- **Influencias de las impurezas en la copelación.**- Cantidades apreciables de arsénico, cadmio, fierro, manganeso, etc., en el botón de plomo auro – argentífero aumentan las pérdidas de Au y Ag, por cuanto sus óxidos no son absorbidos totalmente y forman escoria sobre la copela.

El antimonio se combina con el plomo dando un antimoniato de plomo que queda como escoria en la copela. El zinc metálico en la copelación decrepita arrastrando partículas de plomo. Es imposible copelar en presencia de este elemento.

El cobre es oxidado a óxido cuproso, el cual después en contacto con el plomo fundido se reduce a cobre metálico. Por esta razón se hace muy difícil su eliminación. Es típico observar una coloración gris oscura casi negras en las copelas en que se ha estado copelando un botón de plomo que ha contenido muchas cantidades de cobre con impurezas. El telurio y el selenio son difícilmente absorbidos en la copelación, y por esta causa el plomo, a

medida que avanza el copelación, aumenta cada vez más su contenido en estos elementos. Es necesario eliminarlos antes de la copelación.

## 2.9. Incuartación.

Esta operación consiste en agregar plata químicamente pura a los análisis de oro, porque las aleaciones de oro y plata son insolubles en  $HNO_3$ , concentrado o diluido cuando las proporción de oro y plata inferior a 1:2.5 (1 de oro por 2.5 de plata). En cambio si la plata se encuentra en una proporción mayor que la indicada, se disuelve muy fácilmente en  $HNO_3$ , diluido o concentrado. Esta adición de plata es indispensable, pues aumenta la pequeña proporción de plata que siempre acompaña al oro en los minerales, con lo que se posibilita su remoción y obtención de un botón de oro puro.

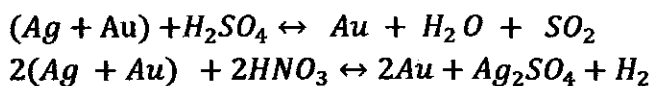
## 2.10. Separación del oro y plata.

Se realiza agregando  $HNO_3$ , primeramente diluido para disolver la plata y finalmente concentrado con la finalidad de asegurar una completa eliminación de ésta.

La reacción que ocurre es:



También este ataque puede efectuarse con  $H_2SO_4$  y  $HNO_3$  concentrados entonces ocurre:



## 2.11. Cálculo del contenido de oro.

Es una labor de escritorio en la que se calcula el contenido de oro o “Ley de Oro” en términos de gramos de oro por tonelada de mineral, como resultado de la siguiente relación:

$$\text{Ley de oro} = \frac{\text{Peso de botón de oro} \times 10^6}{\text{peso de la tierra}}$$

## 2.12. Descripción del Proceso.

Los procesos de análisis de oro y plata que se efectúan en nuestra empresa por el método de Fusión-Copelación, se sujetan a los mandatos teórico-prácticos que

anteladamente se han mencionado y a las características propias de las muestras. Por estas razones el procedimiento que a continuación describo, debe tomarse como una ilustración guía adaptable a cada caso en particular.

#### 2.12.1. Equipos y Materiales.

1. Horno eléctrico
 

Temperatura máxima	:	1 100°C
Resolución del indicador de temperatura:		$\leq 1\text{ }^{\circ}\text{C}$
2. Horno eléctrico
 

Temperatura máxima	:	950°C
Resolución del indicador de temperatura:		$\leq 1\text{ }^{\circ}\text{C}$
3. Balanza analítica
 

Capacidad máxima	:	$\leq 1\ 200\text{ g}$
Resolución	:	0,001 g
4. Lingoteras de capacidad 125 ml.
5. Yunque.
6. Porta copela.
7. Martillo.
8. Porta-crisoles de madera (anaqueles).
9. Tenazas especiales de fierro para crisoles, cópelas y botones de plomo.
10. Alicates punta de loro para doré.
11. Guantes aluminizados.
12. Mandil aluminizados.
13. Careta de protección facial.
14. Respirador contra polvos.
15. Crisoles refractarios de 30 g.
16. Copela N°8.
17. Material de vidrio usual de laboratorio.
18. Campana Extractora de gases.
19. Plancha de calentamiento con control automático de temperatura.
 

Temperatura máxima	:	200 °C
--------------------	---	--------

Resolución del indicador de temperatura :  $\leq 1\text{ }^{\circ}\text{C}$

20. Dispensadores de ácido.

21. Pinzas punta de loro.

2.12.2. Reactivos.

1. Carbonato de Sodio.
2. Bicarbonato de Sodio
3. Bórax anhidro comercial.
4. Litargirio
5. Sílice
6. Cloruro de sodio
7. Nitrato de Potasio
8. Vidrio molido
9. Harina trigo sin preparar.
10. Nitrato de potasio grado técnico.
11. Nitrato de plata QP.
12. Ácido Nítrico QP.
13. Agua destilada

2.12.3. Operaciones del Proceso.

Las diferentes operaciones que contempla este proceso se han distribuido en forma correlativa en las fases del mismo como sigue:

*Acondicionamiento de Crisoles:*

1. Limpiar los crisoles refractarios de 30 g y luego llevarlos en forma ordenada en los porta crisol de madera al área de pesado.

*Formulación de Masa Fundente (flux):*

2. Preparar una masa (flux) con composición química establecida en la Tabla N° 01:

**Tabla N° 01**

<b>COMPOSICION DEL FLUX (%)</b>			
<b>Nombre Químico</b>	<b>Fórmula Química</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Porcentaje en peso</b>
<b>Litargirio</b>		<b>1,1000</b>	<b>55%</b>
<b>Carbonato de Sodio Anhidro</b>		<b>500</b>	<b>25%</b>
<b>Bórax</b>		<b>300</b>	<b>15%</b>
<b>Sílice o vidrio molido</b>		<b>100</b>	<b>5%</b>

*Tratamiento de la muestra para el análisis (Muestra geológica).*

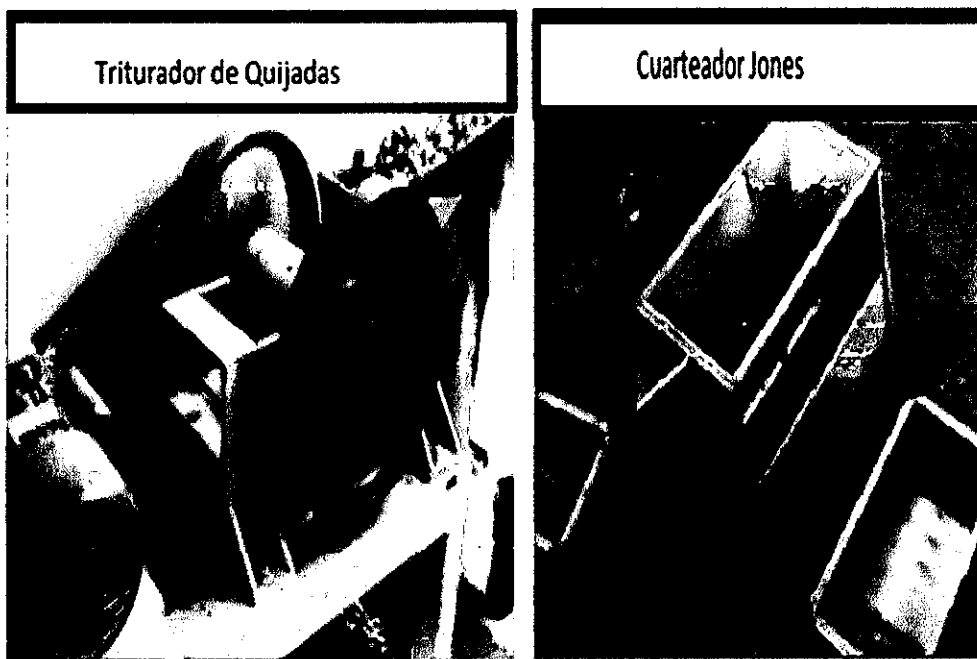
El muestreo es el conjunto de operaciones que deben hacerse a un material, con el fin de obtener una pequeña porción que representa la composición de la cantidad total.

El proceso de muestreo se divide en 3 operaciones principales.

3. Toma de muestras: La muestra que se tome debe ser representativa. En cuanto a distribución del mineral. Humedad, tamaño y forma de grano, grado de compactación.



4. Reducción de la muestra: La reducción de la muestra se lleva a cabo in situ y dependiendo de la cantidad son trituradas (triturador de quijadas) y se muestrea por cuarteo hasta obtener una fracción apropiada para enviarse al laboratorio.



5. Preparación de los Minerales para Análisis Químico: Las muestras con un peso de 2 kilogramos se mezclan, se homogenizan y se reducen a 200 gramos en el partidos Jones. Una vez seca ( $T_O = 100 \pm 5^\circ\text{C}$ ), la muestra se muele en el pulverizador de anillos a menos de 100 mallas (0,149 milímetros). El tamaño de la partícula dependerá del análisis que se pretenda ya que, cuando se trata de minerales refractarios difíciles de atacar o fundir, es necesario moler los minerales a tamaños de partículas más fina.



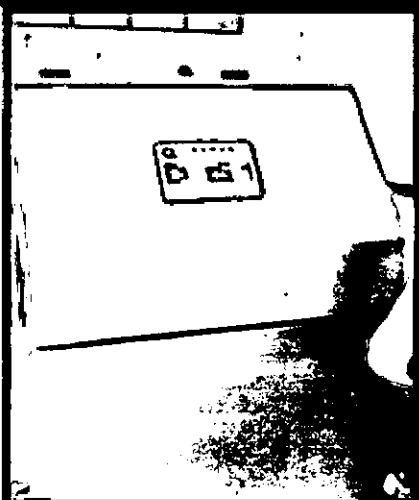
**Pulverizadora  
de Anillos**



**Pulverizador con una muestra de mina,  
mineral oxidado.**



**Pulverizando Muestra**



**Muestra Pulverizada.**



*Preparación de la mezcla para fundición*

6. Una vez reconocido el tipo de muestra (minerales oxidados minerales sulfurados) se prepara la mezcla fundente según lo establecido en la Tabal N° 02.

**Tabla N° 02**

<b>COMPOSICIÓN</b>	<b>SULFUROS</b>		<b>ÓXIDOS (g)</b>
	<b>Claro (g)</b>	<b>Oscuros (g)</b>	
<b>Muestra</b>	5 a 30	5 a 15	5 a 30
<b>Flux</b>	80	80	120
<b>Nitrato de Potasio</b>	1-5	1-12	-----
<b>Harina</b>	1- 3	-----	1 a 5
<b>Bórax</b>	15	15	5

Debiendo considerar lo siguiente:

- Pesamos la cantidad de flux(es una masa con una composición química establecida ver Tabla N°01) establecido en la tabla N°02, en una bolsa plástica, tener en cuenta la codificación de la muestra.
- Correcto pasado de la muestra teniendo en cuenta la tabla N°02, por ejemplo pesaremos entre 15 a 30 gr si es una muestra sulfurada y de 20 a 30 g si es una muestra oxidada.
- Dosificación de reactivos oxidante y reductores (harina y  $\text{KNO}_3$  )  
Si la muestra es sulfurada le adicionaremos nitrato de potasio  
Si la muestra es oxidada se le adiciona harina.

*Fundición:*

7. Homogenizar la mezcla agitando la bolsa cuidando que no salte el contenido.



8. Colocar la bolsa con la muestra en el crisol y cubrir con aproximadamente 15 g aproximadamente de bórax.



9. Llevar los crisoles al horno de fundición a una temperatura de  $1\ 050^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$  por un periodo de  $60\ \text{min} \pm 10\ \text{min}$ , fundir también un blanco flux (BkFlux).



10. Retirar el crisol del horno realizando un movimiento circular para una mejor aglomeración de plomo y golpear sobre una superficie dura.
11. Verter el contenido del crisol en la lingotera previamente limpia y completamente seca.



12. Dejar enfriar unos 15 min, retirar la escoria de la lingotera, golpeando con un martillo para liberar el régulo.



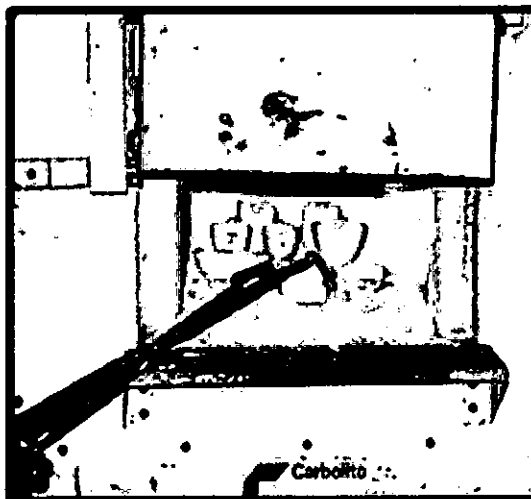
13. Limpiar el régulo de las escorias de fundición con un martillo y colocarlos de forma ordenada sobre sus crisoles de arcilla donde han sido fundidos (el crisol de acilla debe estar invertido) que previamente tiene codificada sus cavidades.



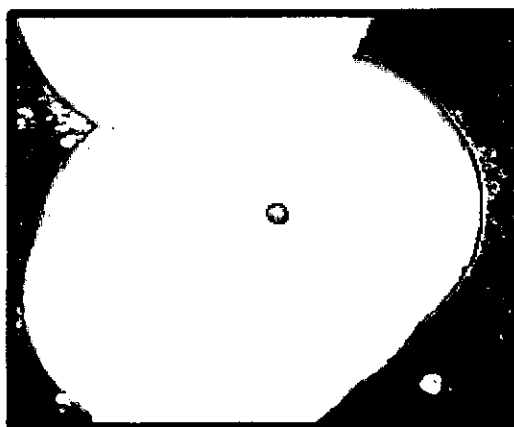
14. Si el peso del régulo no está dentro del rango de  $35 \text{ g} \pm 5 \text{ g}$ , se tendrá que repetir el ensayo.

*Copelación:*

15. Poner las copelas previamente en el horno por un tiempo de 20 min. a temperatura de  $950^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ .



16. Colocar los régulos en el abastecedor de régulos de derecha a izquierda y de delante hacia atrás.
17. Una vez en el horno y cuando el plomo se encuentre completamente fundido se enciende el filtro extractor de gases de plomo para que entre una corriente de aire y así oxidar el plomo. Esta operación dura de 45 a 60 minutos a una temperatura de  $950^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ .



18. El punto final de copelación es notorio, sucede cuando aparece el relámpago de plata; se retira inmediatamente la copela del horno y se deja enfriar 15 min, luego extraer los dorés (oro/plata) con la ayuda de una pinza.

#### *Incuartación*

19. Agregar el flujo o bien puede hacerse en esta parte adhiriendo con un fuerte golpe de martillo el pedacito de plata laminada al botón de plomo. La cantidad de plata es variable y depende de la riqueza de oro del mineral. Generalmente se acostumbra a agregar más o menos 1 decigramo 0.01g de plata. También puede ser colocado este pedazo de plata en la copela misma al momento de ser colocado en mufla.

#### *Separación del oro y plata*

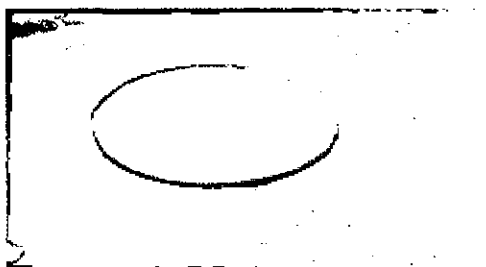
20. Una vez fría la copela, se separa de ella el botoncito auro-argentífero con un alicate, y sobre el yunque se le da unos golpecitos a fin de laminarlo y ofrecer así una mayor superficie para el ataque con diluido.



21. Se vacía el botón laminado lo mejor posible a un crisolito de porcelana N#5 se le agrega            diluido has 3 cuartas partes del crisol.



22. Se calienta para que disuelva la plata, según reacciones mencionadas.



23. Cuando haya terminado el desprendimiento de burbujas se retira la solución de nitrato de plata que se encuentra en el crisolito para agrega unas gotas de            concentrado, para asegurar la completa eliminación de la plata en forma de nitrato de plata.
24. Se lava por decantación 4 o 5 veces con agua destilada, se seca lentamente en el mismo baño de arena y en seguida se calcina fuertemente sobre el mismo crisolito con la llama fuerte de un soplete o mechero Primus hasta lograr el hermoso color naranja del oro puro.
25. Se deja enfriar y se pesa en la balanza de precisión.



### *Cálculo del contenido de oro*

26. Esta se ha mencionado como una operación de escritorio en la cual se toman como datos.

Peso de muestra analizar 20 g

Después de analizar la muestra por el método de ensayo al fuego tenemos 0.00042g de oro

Así tenemos:

Si en 20g de tierra hay → 0.00042g de oro

En 1'000,000g habrá → X

Aplicando la fórmula:

$$\text{Ley de oro} = \frac{\text{Peso de botón de oro} \times 10^6}{\text{peso de la tierra}}$$

Por lo tanto:

$$\text{Ley de oro} = \frac{0.0042 \times 1'000}{20} = 21 \text{ g/Tn.}$$

$$\text{Ley de oro (onz/tc)} = 21.00 \times 0.029167 = 0.6125 \text{ Onz/tc}$$

### 2.13. Casos Ilustrativos

Los casos de análisis que a continuación expongo, son representativos de los muchos que realizamos en nuestra Empresa mediante el método Fusión-Copelación.

Se trata de dos muestras de diferentes Empresas, a las que por igual se les ha aplicado en primer lugar un secado al horno, seguido de trituración, cuarteado y finalmente un pulverizado que las dispone para ejecutarles el análisis por método de ensayo al fuego.

Caso N° 01:

Muestra Veta del Pozo – Cerro Azul Alto, la cual presenta características de material sulfuroso, por lo tanto, el peso de la muestra a analizar será de 10,016 g, la masa fundente 180 g, utilizando como reactivo oxidante 4,40 g de nitrato de potasio y una cubierta de 12 g de bórax.

El ensayo permitió la obtención de 0,0944 mg de oro y 0,00567 g de plata dando lugar a lo siguiente:

Cálculos para obtener la cantidad de oro en  $\frac{g}{tn}$

Considerando que  $tn \dots \dots \dots 10^6 g$

$$10.016 g \rightarrow 0.0944mg$$

$$10^6 g \rightarrow x$$

$$x = 9424.92mg$$

$$x = 9.425g$$

Interpretación del resultado:

En una tonelada de mineral hay 9,425g de oro total.

Cálculos para obtener la cantidad de plata en  $\frac{g}{tn}$

Considerando que  $tn \dots \dots \dots 10^6 g$

$$10.016 g \rightarrow 0.00567g$$

$$10^6 g \rightarrow x$$

$$x = 566.10g$$

$$x = 566.10g$$

Interpretación de resultados:

En una tonelada de mineral hay 566.10g de plata.

Caso N° 02:

La muestra veta junior ubicada cerro pelado Torata. Presenta las características de un material oxidado, por lo tanto el peso de la muestra analizar será 20.078 g con una masa fundente de 180g, utilizando como reactivo reductor harina de pan 1,89g y con una cubierta de 13 g de bórax, obteniéndose los siguientes resultados después del ensayo. Peso de oro 0.2044mg y peso de la plata 0.00111g

Cálculos para obtener la cantidad de oro en  $\frac{g}{tn}$

Considerando que  $tn \dots \dots \dots 10^6 g$

$$20.078 g \rightarrow 0.2044mg$$

$$10^6 g \rightarrow x$$

$$x = 10220mg$$

$$x = 10.22g$$

Interpretación del resultado:

Que en una tonelada de mineral hay 10,22g de oro total.

Cálculos para obtener la cantidad de plata en  $\frac{g}{tn}$

Considerando que  $tn \dots \dots \dots 10^6 g$

$$20.078 g \rightarrow 0.00111g$$

$$10^6 g \rightarrow x$$


$$x = 55.28g$$

$$x = 55.28g$$

Interpretación de resultados:

En una tonelada de mineral hay 55.28g de plata.

# Reporte de los casos:

	<b>HOJA DE TRABAJO DE ANÁLISIS DETERMINACIÓN DE ORO TOTAL POR METÓDO FUSIÓN COPELACIÓN</b>			COD: LAB-FUCO		
				VER:01	PAG:1 a 1	
Fecha	Código de la muestra	N° Muestra	Peso de la muestra en g	Peso del oro en mg	Ley de oro (g/tn)	Ley de Plata (g/tn)
26/01/13	Cerro Azul -Zaruma	A-32	10.016	0.0944	9.425	566.10
26/01/13	Cerro Pelado-Torata	A-52	20.078	0.2044	10.22	55,28

### **CAPÍTULO III: DETERMINACIÓN DE ORO SOLUBLE, POR EL MÉTODO DE LIXIVIACION CON CIANURO, POR AGITACIÓN.**

#### **3.1. Objetivo.**

Determinar la cantidad de oro soluble en una muestra de mineral, en la que previamente se le ha comprobado un contenido de oro total de 10g/Tn y se ha evaluado la presencia de elementos cianicidas.

#### **3.2. Fundamento Teórico.**

##### **3.2.1. Antecedentes**

J.S. Mac Arthur y R.W. y Wm. Forrest, demostraron allá por el año 1886, que era posible extraer el oro de sus minerales empleando soluciones muy diluidas de cianuro de potasio, y la posibilidad de precipitar el oro y la plata de sus soluciones de cianuro por el zinc en pequeñas limaduras. Antes de esa época los *metalurgistas* dudaban de la posibilidad de emplear este método por la poca estabilidad del cianuro de potasio, su carácter ponzoñoso, su alto costo y la lentitud de su reacción sobre el oro.

La cianuración fue originalmente aplicada al tratamiento de los relaves resultantes de la amalgamación de minerales de oro; pero posteriormente se aplica al beneficio directo de muchos minerales auríferos argentíferos.

El proceso consiste esencialmente en atacar los minerales de oro con soluciones diluidas, conteniendo menos de uno por ciento, de cianuro alcalino, añadiéndole un ligero exceso de soda caústica o cal a aquellos minerales que se hubieran vuelto ácido por la oxidación de las piritas; y después precipitar el oro y la plata con el zinc. Es necesario usar soluciones diluidas, las cuales bastan para disolver el oro y la plata; pero tienen poca acción sobre la pirita y otros minerales básicos.

Los elementos que destruyen el cianuro son llamados cianicidas. Por ejemplo: cobre, zinc, arsénico, etc.

El cianuro que se usa es el de potasio, el sodio o el de calcio. Actualmente se emplea más el de sodio, el British Cassel contiene 97.5% de NaCN y el Checoeslovaco tiene 91% de NaCN. El cianuro de calcio de origen americano o canadiense contiene un equivalente de 49 % de cianuro de sodio.

El empleo del cianuro de calcio tiene como ventaja que cuando el oro es precipitado de su solución se forma algo de hidróxido de calcio, 40 a 50% del peso de cianuro de calcio empleado, el que reemplaza a la cal que en otros casos es necesario añadir para mantener la alcalinidad de la solución. En cambio, su empleo exige un mayor costo de transporte debido a su menor actividad.

Aunque los cianuros de sodio y de calcio han reemplazado prácticamente al de potasio debido a su menor precio.

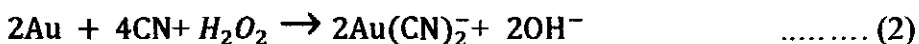
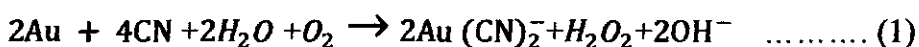
### 3.2.2. Aspecto Físico Químico de la Cianuración de Oro.

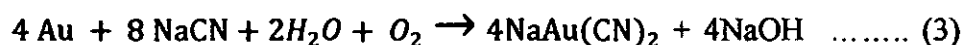
El proceso de cianuración se basa en disolución selectiva del oro y la plata y algunos compuestos de ellos, por soluciones diluidas y aireadas de cianuro de metales alcalinos como cianuro de sodio o de calcio.

En la práctica soluciones aireadas de cianuro de sodio o de calcio son usadas con agua de álcali (comúnmente cal o solución de hidróxido de sodio). El álcali es utilizado para deprimir el efecto de hidrólisis del cianuro el cual tiene tendencia a formar ácido cianhídrico, el que por sus propiedades: se pierde por volatilización.

El oxígeno es de vital importancia para la disolución del oro en soluciones diluidas de cianuro.

Mc Laurin (1893) muestra las ecuaciones apropiadas para la disolución:





Las ecuaciones (1) y (2) son referidas como las ecuaciones de Bodlaender y la ecuación (3) la llamada ecuación de Elmsner (notable investigador de la cianuración)

Existió mucha discusión con respecto a la formación de peróxido de hidrogeno ecuación (1). Habashi revisó las ecuaciones y verifico (1970) que el oxígeno fue reducido completamente a ión hidroxilo.

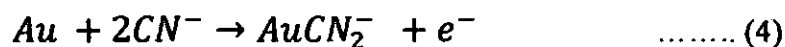
Las constantes de equilibrio de estas ecuaciones fueron calculadas a partir de la variación de la energía libre (Barski, Swainson y Hedley) y son :

Ecuación (1)..... $K=10^{16}$ , para la ecuación (2)..... $K=10^{50}$  y  $K=10^{66}$  para la ecuación (3). Los mecanismos de disolución de oro y plata se basan en los procesos de corrosión o reacción redox.

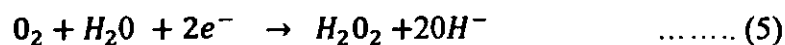
### 3.2.3. Mecanismo de Disolución.

Si la disolución es observada como un proceso de corrosión electroquímica, entonces el oro puede ser considerado que dentro de la solución forma el área anódica o área de oxidación química, el oxígeno es reducido en el área catódica Los electrones son transferidos a través del metal de los lados anódicos a los catódicos, así podemos apreciar en las ecuaciones redox.

El lado anódico:



El lado catódico:



También la reacción:



Ocurre en una extensión pequeña del lado catódico Cuando el oro puro es uniformemente aireado en una solución, las reacciones catódicas y

anódicas pueden ocurrir sobre las mismas áreas tal que la disolución procede uniformemente sobre la totalidad del espécimen.

Por lo tanto, como se muestra por Thompson (1947), si el oxígeno es aplicable a uno de los lados del espécimen, entonces la disolución procede preferentemente por el otro lado. Fue Thompson quien demostró este hecho utilizando para ello pequeñas esferas de oro y una solución solidificada como soportes de éstas. Haciendo circular una corriente de KCN libre de aire constante, al cabo de tres días, se observó una ligera corrosión en el lado opuesto al de la incidencia del flujo fig. 3-1; después de otros 3 días, la partícula de oro había sido reducida a la mitad.

La velocidad de disolución global está controlada más lenta por la de las reacciones, anódicas o catódicas.

La velocidad de una de estas puede ser controlada por la otra en este proceso químico. El fenómeno de velocidad de difusión sobre la superficie metálica depende de la concentración de uno u otro reactante; para estudiar mejor este caso de oxidación electroquímica del oro es necesario tomar cada reacción por separado.

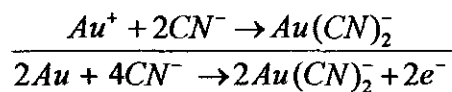
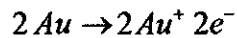
Si analizamos el mecanismo de disolución del oro desde el punto de vista cinético, podemos observar que en el lado del ánodo (lado de oxidación), y en el lado catódico (lado de reducción) sucede un mecanismo de reacción simultáneo, pudiendo apreciar la ecuación (1) mostrada por Mc Laurin:

- a. Para cada equivalente de metal disuelto se consumen 02 moles de metal disuelto.
- b. Por cada 02 equivalentes de metal disuelto se consumen 02 moles de oxígeno.
- c. El peróxido de hidrogeno se forma durante la disolución del oro y/o plata, por cada 02 equivalentes de metal disuelto se produce 01 mol de peróxido de hidrogeno.

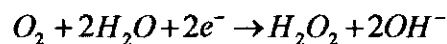


- d. La reacción de disolución es un proceso de corrosión en el cual el oxígeno toma electrones en una parte de la superficie metálica (zona catódica) al mismo tiempo que el metal cede los de él; produciéndose la corrosión u oxidación del mismo (zona anódica) las reacciones en las zonas son:

Zona de Oxidación (Anódica)



Zona de Reducción (Catódica)



Reducción del oxígeno en la superficie metálica: Si consideramos que el mecanismo de disolución sucede en una superficie metálica con un espesor determinado de película y en las condiciones de agitación, temperatura y , podemos escribir de acuerdo a la ley de Fick, la ecuación Cinética para el oxígeno y cianuro que se difunde así:

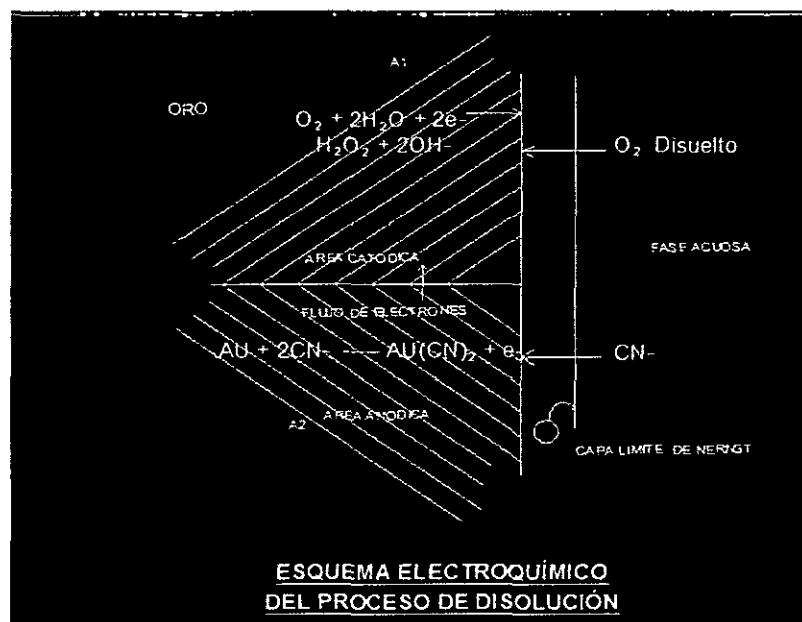


Figura: 3 - 1

### 3.2.4. Cinética de la Reacción

Como el tiempo en el cual se lleva a efecto la reacción es en gran parte, el de la etapa de menor velocidad (llamada entonces etapa controlante), es importante identificar a ésta para incrementar su rapidez.

Una reacción fisicoquímica, en la cual se hallan involucradas una fase sólida y otra líquida, se realiza en las cinco etapas siguientes:

1. Difusión de los reactantes desde la solución hasta la interface sólido líquido.
2. Adsorción de los reactantes en la superficie del sólido.
3. Reacción en la superficie.
4. Desorción de los productos de la reacción de la superficie del sólido.
5. Difusión de estos productos de la interface sólido-líquido a la solución.

El tiempo que se emplea en las etapas 1 y 5, es controlado por las velocidades de difusión, en tanto que el de las etapas 2,3 y 4 es en función de la rapidez de los procesos químicos. Si la difusión es muy lenta, una mayor agitación es necesaria para acelerar la reacción, si en cambio esta última se retarda por los procesos químicos, se debe incrementar la temperatura.

La cianuración está gobernada por las leyes de FICK, expresados matemáticamente de la siguiente manera.

$$\frac{(d O_2)}{dt} = D_{O_2} \frac{A1}{\delta} \{[O_2] - [O_2]_s\}$$

$$\frac{(d CN^-)}{dt} = D_{CN^-} \frac{A2}{\delta} \{[CN^-] - [CN^-]_s\}$$

Dónde:

$\frac{(d O_2)}{dt}$  y  $\frac{(d CN^-)}{dt}$  son las velocidades de difusión de  $O_2$  y  $CN^-$  respectivamente, expresados en moles/s.

$D_{O_2}$  y  $D_{CN^-}$  son coeficientes de difusión en moles/s.

$A_1$  y  $A_2$  las superficies anódicas y catódicas sobre las cuales se lleva a cabo las reacción, ambas medidas en  $\text{cm}^2$ .

$\delta$  Ancho de la capa límite de Nerst en cm.

$[O_2]$  y  $[CN^-]$  concentración de oxígeno y cianuro en la solución, en moles/s

$[O_2]_s$  Y  $[CN^-]_s$  concentración sobre la superficie de la reacción.

Si en las dos anteriores ecuación se consideran que la reacción química es muy rápida, se tiene  $[O_2]_s = [CN^-]_s = 0$ . Si se acepta asimismo que la velocidad de disolución del metal es dos veces del oxígeno y solo la mitad del cianuro, se obtiene la siguiente igualdad:

$$2D_{O_2} \frac{A_1}{\delta} [O_2] = \frac{1}{2} D_{CN^-} \frac{A_2}{\delta} [CN^-]$$

Se debe tener en cuenta además que el área total es  $A = A_1 + A_2$ , resolviendo este sistema de ecuaciones se deduce que la velocidad de cianuración es:

$$v = \frac{2 A D_{CN^-} D_{O_2} [CN^-] [O_2]}{\delta \{ D_{CN^-} [CN^-] + 4 D_{O_2} [O_2] \}}$$

Obtenida esta ecuación se debe considerar dos posibilidades; cuando las concentraciones de cianuro son bajas, el primer término del denominador es despreciable respecto del segundo, con lo cual de la expresión anterior se tiene:

$$v = \frac{1}{2} D_{CN^-} \frac{A}{\delta} [CN^-]$$

$$v = K_1 [CN^-]$$

Por lo tanto, en estas condiciones, la velocidad de lixiviación es función de la concentración de cianuro, de hecho ha sido comprobado experimentalmente. La segunda posibilidad es que las concentraciones de este compuesto sean altas. En este caso el segundo término del denominador es despreciable respecto del primero, por lo que la ecuación se convierte:

$$v = 2D_{O_2} \frac{A}{\delta} [O_2]$$

$$v = K_2 [O_2]$$

Esto significa que, a altas concentraciones de cianuro, la velocidad de disolución depende solamente de la concentración de oxígeno. Los experimentos han corroborado también esta previsión teórica.

Para hallar el límite en el cual el predominio de una de las concentraciones cede el paso al de la otra en el control de la velocidad de lixiviación, se debe volver a la ecuación general. Cuando en dicha ecuación se cumple:

$$D_{CN^-} [CN^-] = 4D_{O_2} [O_2]$$

O, lo que es lo mismo

$$\frac{[CN^-]}{[O_2]} = 4 \frac{D_{O_2}}{D_{CN^-}}$$

Y se asume que  $D_{O_2}/D_{CN^-} = 1.5$  (promedio establecido a partir de diferentes pruebas experimentales) se determina que el límite referido se alcanzó cuando:

$$\frac{[CN^-]}{[O_2]} = 6$$

### 3.3. Factores que afectan la disolución del oro.

#### 3.3.1. Tamaño de la partícula.

Cuando en los minerales se encuentra oro libre grueso, la práctica usual es separarlo por medio de trampas hidráulicas gravimétricas, antes de la cianuración, de lo contrario, las partículas gruesas no podrán ser disueltas completamente en el tiempo disponible para llevar a cabo el proceso de disolución.

Otra práctica para reducir el tamaño de las partículas de oro, es la molienda y clasificación de los minerales de oro en circuito cerrado, donde las partículas de oro grueso son reducidos de espesor y quebrantados, logrando rebosar el clasificador.

Cuando se utilizan cribas hidráulicas en los circuitos de molienda, es posible coleccionar partículas de oro hasta de tamaños equivalentes a la malla 65. Una partícula de oro 45  $\mu$  de espesor, no tardara más de 12 horas en disolverse, y una de 150 $\mu$  no tardara más de 48 horas en disolverse. La velocidad de disolución también están afectadas por factores como: la aireación, agitación, composición química, concentración de cianuro y la eficiencia de la solución de cianuro en uso, entre otras.

### 3.3.2. Concentración de Cianuro.

La velocidad de disolución del oro en solución de cianuro alcanza un máximo al pasar de soluciones concentradas a diluidas. Hay variación muy grandes en la fuerza de la solución que provoca la máxima velocidad de dilución del oro, probablemente debido a la variedad de las técnicas empleadas en la determinación experimental de los resultados.

### 3.3.3. Concentración de Oxígeno.

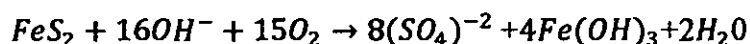
El oxígeno es el factor controlante de la disolución del oro en las plantas de cianuración. La solubilidad del oxígeno está determinada básicamente por las condiciones climatológicas, temperatura, altura sobre el nivel del mar y parcialmente las concentraciones de sales en la solución de trabajo. Las concentraciones máximas de oxígeno alcanzadas oscilan entre 5-10mg/l.

El uso de oxígeno o un agente oxidante es esencial para la disolución del oro bajo condiciones normales de cianuración. Los agentes oxidantes, tales como permanganato de potasio, peróxido de sodio, bromo y cloro, fueron usados en el pasado con relativo éxito, pero debido al costo de estos reactivos y las complicaciones que su uso implicaba, actualmente ya no se utilizan.

El modo de aplicación del oxígeno es usando compresores de aire, dependiendo del modo en que se trabaje, sea con pachucas o con agitadores de hélice, el hecho es que existe una aplicación de uno u otro. Los agitadores por lo general de acuerdo a su tamaño, a medida que son más diametrales, menores son sus revoluciones, pero si se consideran que en la práctica las hélices sometidas a revoluciones tal que su velocidad periférica (pies/min) supere los 1000 (pies/min) el sistema de agitación empieza a tomar aire atmosférico a través del vórtice formado alcanzando velocidades periféricas de hélice de 1200-1500 (pies/min) saturando en oxígeno las soluciones por agitación. Mayores velocidades son antieconómicas puesto que se incurre en mayores potenciales que implican mayor gasto.

En otros casos cuando se trabaja con agitadores de diámetro mayores (15' a 20') y dependiendo del grado de agitación que se desee para mantener la suspensión, se estila apoyar la saturación de oxígeno en la pulpa con aplicaciones de air litf dirigidas de la periferia del tanque hasta el tubo central del agitador, provocando además un movimiento axial de la pulpa mejorando la agitación. Se recomienda sobre todo, cuando el mineral posee material habido por oxígeno, o existe una formación constante del ion sulfuro (caso de la cianuración de concentración de sulfuros con contenido algo de pirrotita, marcasita).

Otro caso específico: Se utilizará la pre aireación cuando se tiene una proporción alta de sulfuros consumidores de oxígeno, uso generalmente de las pachucas y quedando con un material más noble para la etapa de cianuración.



En esta, no toda la pirita es convertida en productos. La conversión es irregular pero se contribuye a una mejora en la velocidad de disolución. El ion sulfato formado es inocuo a la cianuración, lo mismo que el hidróxido formado. Existen en la actualidad algunos métodos de medición pero se recomienda usar oxímetros manuales y digitales.

#### 3.3.4. Temperatura

Cuando el calor es aplicado a una solución de cianuro conteniendo oro metálico, produce fenómenos opuestos que afectan la disolución.

El incremento de la temperatura aumenta la actividad de la solución, incrementándose por lo consiguiente la velocidad de disolución del oro, a la par que, la cantidad de oxígeno disuelto en la solución disminuye debido a que la solubilidad de los gases decrece al aumentar la temperatura.

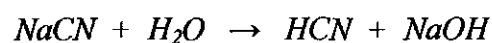
Julian y Smart determinaron que la temperatura óptima para un máximo grado de disolución es 85°C. En la práctica, el uso de soluciones calientes para la extracción, resulta con muchas desventajas tales como el costo de calentamiento del mineral y solución, el aumento en la descomposición del cianuro debido al calor, el incremento en el consumo de cianuro debido a la reacción acelerada entre cianicidas en el mineral tales como sulfuros de cobre, fierro, etc.

#### 3.3.5. Alcalinidad Protectora

La reducción de la descomposición del cianuro se logra mediante la adición de la cal en forma de lechada que es la alcalinidad protectora. Es usual mantener esta alcalinidad mediante la adición de cal de acuerdo al pH del material. El efecto benéfico de la cal se manifiesta por el efecto logrado en la sedimentación de las partículas finas o lamas. En algunos casos, para propósitos específicos, la alcalinidad se mantiene mediante el uso de otros álcalis como el hidróxido de sodio y carbonato de sodio. Estos álcalis, sin embargo, generalmente no son agentes de sedimentación efectivos.

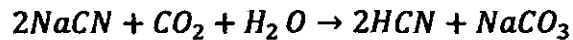
El hidróxido de calcio presenta en la solución de cianuración cumple funciones específicas, como:

- Previene la pérdida de cianuro por hidrólisis:

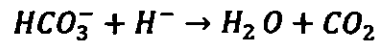
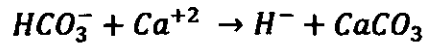


Haciendo que la reacción sea favorable hacia la izquierda.

- Previene la pérdida de cianuros por efecto de la acción del dióxido de carbono del aire.



- Favorece la descomposición de los bicarbonatos presentes en el agua que se usa antes del proceso de cianuración:

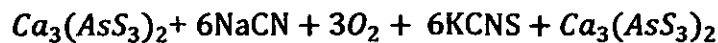
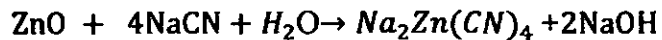
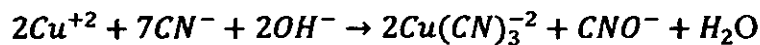
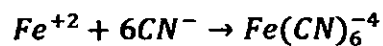


- Neutraliza los compuestos ácidos y los que generan ácidos, tales como sales, férricas, sulfatos, etc.
- Ayuda en la sedimentación de las partículas finas, consiguiéndose la clarificación de la solución cargada de metales preciosos.

### 3.3.6. Compuestos y Elementos Extraños en el Mineral, que influyen en el Proceso de Cianuración.

Muchos investigadores están de acuerdo que la disolución de oro por cianuro está controlada por difusión, pero en la lixiviación industrial con cianuro, las sustancias consumidoras de oxígeno pueden afectar decididamente la extracción del oro. La pirrotita y la pirita, en menor grado, el cobre, el zinc y todos los metales fundamentales, arsénico y minerales de antimonio, consumen cianuro.

Algunas de las reacciones cianicidas conocidas se citan a continuación:



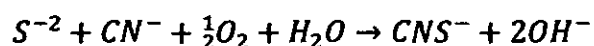
Los iones de metales comunes de (Cu+2, Fe+2, Fe+3, Mn+2, Ni+2 y Zn+2), con el cianuro forman complejos estables, consumiéndolo, reduciendo su actividad y retardando la cianuración del oro. El cobre en su estado monovalente forma una serie de complejos extremadamente solubles en soluciones de cianuro:



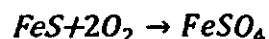
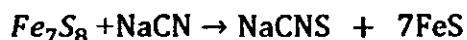


La velocidad de cianuración del oro no está afectada por la presencia de esos iones cuprocianuros, en tanto se mantenga un exceso de cianuro en la solución  $[(\text{CN total en solución})/(\text{Cu total en solución}) > 4]$ , por lo tanto, si en la mena existen elevados niveles de cobre soluble en cianuro, que no pueden ser eliminados antes de la cianuración, se debe agregar un exceso significativo de cianuro. Cuando la solución de lixiviación contiene más de 0.03% de cobre, el  $\text{Cu}_2(\text{CN})_2 \cdot 2\text{NaCN}$  puede ser precipitado por acidificación controlada con ácido sulfúrico y el cianuro debería ser regenerado a partir de este precipitado. En la práctica industrial, si se permite que el contenido de cobre de la solución de lixiviación pase de 0.03 %, la disolución de oro disminuye considerablemente. La recuperación de oro a partir de soluciones que contienen cobre, tienen que llevarse a cabo por el proceso Carbón en Pulpa (CIP), ya que la precipitación de oro con zinc es ineficiente en presencia de elevados niveles de cobre.

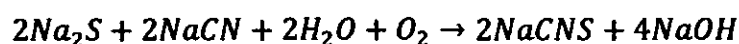
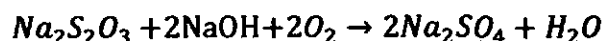
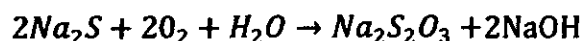
Los minerales sulfurosos reaccionan con el cianuro y oxígeno para formar iones tiocianatos:



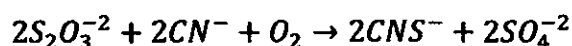
La pirita es el más estable (por lo tanto el menos problemático) de los sulfuros de hierro. La marcasita se descompone más rápido que la pirita y puede ser un cianicida, pero es menos estable que la pirrotita. Este es un cianicida muy negativo, su velocidad de descomposición es mayor que otros minerales piritosos. La pirrotita se descompone formando sulfatos ferrosos y férricos; por lo tanto consume el oxígeno disuelto en la solución:



El sulfuro alcalino puede ser uno de los productos iniciales de la reacción entre la pirrotita y el cianuro alcalino de la solución. El ion sulfuro es un veneno muy poderoso para la cianuración de oro. Se ha reportado inclusive que cantidades menores a 0,005 ppm de ion sulfuro, disminuirá notablemente la disolución. El sulfuro alcalino debería ser oxidado en presencia de oxígeno a tiosulfato, sulfato y/o tiocianato como se expresa en las siguientes reacciones:



De este modo la descomposición de los minerales portadores de azufre pueden dar iones tiosulfatos y politiocianatos que merman el cianuro y el oxígeno disuelto en la solución:



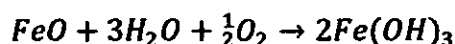
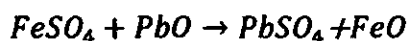
El tiocianato se forma por la reacción del cianuro con sulfuro, oxisulfuro, iones arseno-sulfuro y azufre elemental.

Minerales portadores de arsénico, arsenopirita (FeS.FeAs), rejalgá (As<sub>2</sub>S<sub>2</sub>) Y oropimente (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>), a menudo están asociados con menas de oro y pueden reaccionar con soluciones cianuradas, consumiendo oxígeno y cianuro. AsS<sub>3</sub><sup>-2</sup>, AsO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>-2</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> y CNS<sup>-</sup> han sido identificadas como los productos de reacción de oropimente y solución alcalina de cianuro aireada. Algunos de estos iones consumirán oxígeno adicional para alcanzar un estado estable, y otros como el S<sup>-2</sup> y S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>-2</sup> pueden ser adsorbidas sobre la superficie del oro e inhibir la cianuración.

La presencia de la arsenopirita en la mena puede causar la pérdida de cianuro y oxígeno disuelto a través de su descomposición. En este aspecto, la estibina puede ser peor que la arsenopirita; en adición al oxígeno adsorbido por los sulfuros alcalinos formados durante su descomposición, los iones de tioantimonita (SbS<sub>3</sub><sup>-2</sup>) y sulfuro (S<sup>-2</sup>) generados pueden ser adsorbidos sobre la superficie del oro e impedir la

reacción con el cianuro. Además, se debe tener presente que la elevada presencia de cal, acelera la descomposición de la pirrotita y reduce el efecto de las sales de plomo, que se hacen en mención.

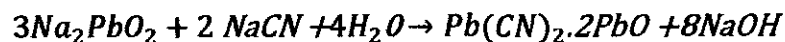
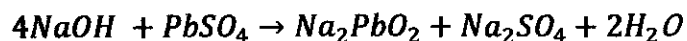
En algunos casos, para evitar la formación de ferrocianuros, suele añadirse litargirio en la etapa de molienda, produciéndose las siguientes reacciones:



El efecto negativo de los minerales de arsénico y antimonio, puede ser resuelto con iones de plomo, los cuales, además de precipitar iones sulfuro, aceleran la oxidación de los tioarsenato ( $AsS_3^{-2}$ ) y tioantimonio ( $Sb_3S_3^{-2}$ ). El efecto de la estibina puede ser controlada, al menos parcialmente, oreando la mena molida antes de la cianuración, sobre la superficie de la estibina oreada; en contacto con el agua, se forma un sulfato básico de antimonio.

La adición de una cantidad de cal pre-determinada y la agitación de las pulpas con alto contenido de minerales de pirrotita, arsénico y/o antimonio (llamados materiales refractarios), es un pre-requisito a la cianuración. A esta etapa, le sigue una de cianuración convencional con la notoria reducción de consumo de cianuro, la separación de los sulfuros solubles como sulfatos básicos, oxidar el ferroso y precipitación en la forma de hidróxidos férricos.

Los principales minerales de plomo, galena ( $PbS$ ) y anglesita ( $PbSO_4$ ) se comportan igual en las soluciones de cianuro, ya que la galena se oxida fácilmente a sulfatos de plomo. Concentraciones bajas de álcali o cal deberían ser usadas en presencia de minerales de plomo, para evitar la formación de plumbita, la cual puede consumir cianuro. Con exceso de álcali, ocurren las siguientes reacciones:



Finalmente, se ha reportado que, durante la tostación de piritas auríferas portadoras de bajas concentraciones de minerales de plomo, los compuestos de plomo pueden recubrir las partículas de oro y hacer que estas sean casi insolubles en cianuro.

### 3.4. Descripción del Proceso

#### 3.4.1. Equipos y materiales:

- Mineral aurífero molido
- Mecanismo de agitación: Agitador mecánico.
- *pH* metro digital, balanza digital.
- Probetas graduadas.
- Vasos de 200 y 400 cc.
- Matraces de 250 cc.
- Erlenmeyer.
- Embudos de vidrio y porta embudos.
- Pipetas volumétricas, bureta 50cc, sujetador de bureta.
- Soporte universal.
- Papel de filtro.

#### 3.4.2. Reactivos:

- NaCN (97%)
- Cal
- AgNO<sub>3</sub>
- IK
- Agua destilada.

### 3.4.3. Normas de seguridad

- Por ningún motivo se manipulará reactivos sin las protecciones adecuadas (guantes, respirador, lentes)
- Evitar derramar  $NaCN$  (sólidos y soluciones). En caso contrario limpiar con agua.
- No ingerir alimentos durante la práctica de laboratorio.
- En caso de contacto con soluciones de  $NaCN$ , lavarse las manos y ropa, con abundante agua.
- Finalizar el laboratorio, procederá dejar el área de trabajo, y lavar las manos.

### 3.4.4. Operaciones del Proceso.

#### 1. Preparación de reactivos

- 250 ml de solución de  $AgNO_3$  (4,33g/lit ) en agua destilada guardar en frasco color ámbar .
- 50 ml de solución *IK* al 5% en peso.
- 50ml de  $NaCN$  (97% pureza) al 10% en peso

2. Pesar 250g de mineral aurífero y agregar agua hasta obtener una pulpa de 30 % sólidos.

3. Preparar soluciones de cianuro con diferentes concentraciones según la necesidad de las pruebas como sigue:

$$\text{Prueba N° 01: } 0.45 \frac{gp}{NaCN}$$

$$\text{Prueba N° 02: } 0.3 \frac{gp}{NaCN}$$

4. Instalar el equipo de agitación de acuerdo a las indicaciones dadas, asegurándose de tener lo necesario para el control de cianuro de la prueba.

Tiempo de agitación: por definir.

5. Preparar la pulpa con dilución indicada, adicionando cal para elevar el *pH* de la pulpa a 10.5-11. Al llegar al *pH* indicado, determine el peso de cal efectivo utilizado.
6. De acuerdo al volumen de agua especificado por la dilución, agregar el cianuro requerido para la concentración de su prueba (ver ejemplo práctico).

Controlar el tiempo y la agitación.

7. Registrar los detalles de prueba y consumo de reactivos.
8. Control y reajuste de cianuro

A los 30 minutos extraer una muestra de 25ml de solución lexivante que se debe estar libre de sólidos en suspensión.

9. Determinar el contenido de NaCN libre.
10. Reajustar el contenido de cianuro para mantener la fuerza según la prueba.
11. Reajuste el volumen de agua para mantener la dilución. Reiniciar la agitación.

Recuerde que:

$$1\text{ml de AgNO}_3 (4.33\text{g/l}) = 0,1\text{g/l de NaCN}$$

12. Control y reajuste de cal.
13. Medir el *pH* de la pulpa y agregar cal si es necesario.
14. Extraer nuevas muestras a los 60 y 120 minutos. Repetir el control y reajuste de cianuro. Medir el *pH* reajuste con la cal si es necesario. Agregar agua para mantener la dilución.
15. Finalizada la prueba determinar el cianuro libre residual y medir el *pH*, filtrar y lavar el sólido (residuo), guardando la solución rica en un depósito de almacenamiento.
16. Secar y pesar el residuo de cianuración.

### 3.5. Caso Ilustrativo

He tomado este caso como ilustración de la aplicación del Método de Lixiviación con Cianuro por Agitación que nuestra empresa aplica en los servicios de análisis encomendados con el objetivo de determinar la presencia de oro soluble.

El caso a tratar es el análisis de un mineral de la veta “Junior” de la Mina Elsitá, con la finalidad de determinar la cantidad de oro y plata soluble, consiguientemente recuperable.

Se ha tenido en cuenta lo siguiente:

#### 1. Condiciones para la molienda:

- Peso del mineral: 1 Kg
- Volumen de agua: 0.5 Lt
- Tiempo: 40 minutos
- Granulometría: 80% - 200m

#### 2. Consideraciones para la cianuración:

- Volumen de solución lixivante: 2.5 Lt
- pH = 11 (se añadió 2.1 gr. de Cal)
- Fuerza de NaCN: 1gr/lit
- Tiempo de agitación: 40 minutos, 4, 8, 24, 48, 72 horas

#### 3. Procedimiento experimental:

##### *Operaciones previas:*

- La pulpa del mineral se debe colocar en un balde en el cual se añadirá cal hasta alcanzar un pH = 11 y NaCN = 1 gr/lit.
- Encender el agitador y luego de 40 minutos de haber empezado el proceso de agitación, se extraerá la primera muestra de 50 ml.

- De esta muestra, 25 ml se utilizará para la determinación del cianuro libre y el resto para el análisis químico del oro y la plata en solución.
- Añadir a la solución cosecha 50 ml de agua para reponer los 50 ml de la primera extracción.

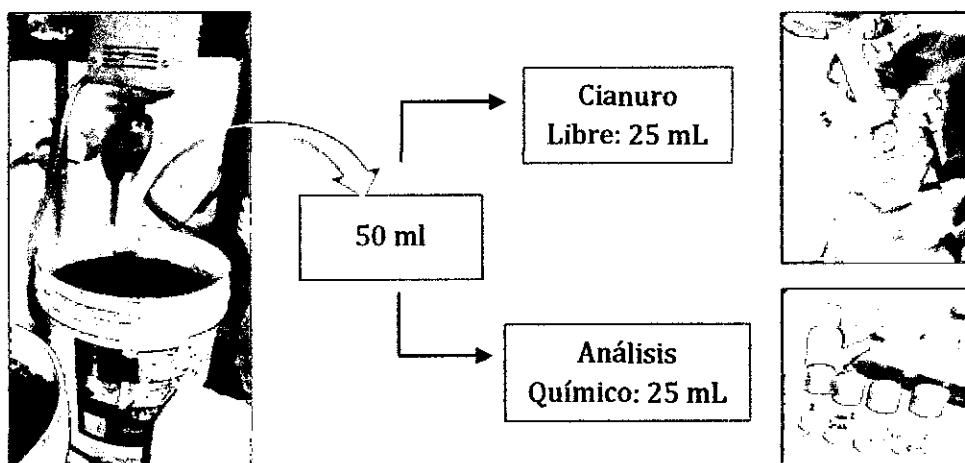


#### Consumo de NaCN

$$W_{NaCN} = 2.5 \text{ lt} \times 1 \frac{\text{gr}}{\text{lt}} = 2.5 \text{ gr.}$$

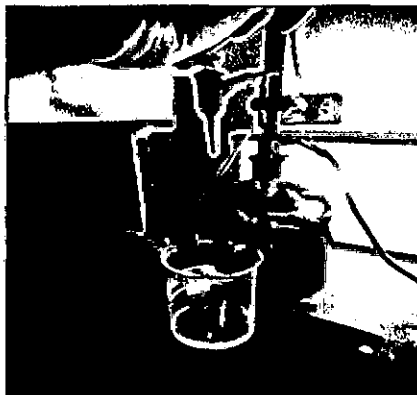
#### *Determinación del Cianuro Libre*

Se extrae 50 ml de la solución cosecha, en la cual 25ml servirá para el análisis químico y el resto para determinar el cianuro libre.





- Colocar 25 ml de la solución cosecha en un vaso precipitado de 200 ml.
- Anadir 2-3 gotas de Ioduro de Potasio (IK) al 10%.
- Titular con una solución de  $\text{AgNO}_3$  (4.33mg/lt) hasta que la solución se torne un color blanco amarillento.



- Anotar el volumen gastado de  $\text{AgNO}_3$ , para determinar el cianuro libre (Volumen Gastado=6.6ml.)
- Luego añadir 50 ml de agua a la solución que se encuentra en plena agitación, en el balde.

$$\text{NaCN}_{\text{libre}} = 0.1V_g$$

$$\text{NaCN}_{\text{libre}} = 0.1(6.6\text{ml}) = \boxed{0.66 \frac{\text{gr}}{\text{lt}}}$$

*Determinación de Cianuro Consumido*

$$\text{NaCN}_{\text{Consumido}} = (1 - \text{NaCN}_{\text{libre}}) \times V_{\text{Sol.}}$$

$$\text{NaCN}_{\text{Consumido}} = (1 - 0.66) \times 2.5\text{lt}$$

$$\boxed{\text{NaCN}_{\text{Consumido}} = 0.85 \frac{\text{gr}}{\text{lt}}}$$

*Determinación de la cantidad de oro soluble*

$$t=0.6\text{hr. Au}=2.50 \times 1.77 = \boxed{4.425\text{mg}}$$

$$t=4\text{hr. Au}=2.50 \times 2.83 + 0.05 \times 1.77 = \boxed{7.1635\text{mg}}$$

$$t=8\text{hr. Au}=2.50 \times 3.52 + 0.05 \times (1.77 + 2.83) = \boxed{9.03\text{mg}}$$

$$t=24\text{hr. Au}=2.50 \times 4.01 + 0.05 \times (1.77 + 2.83 + 3.52) = \boxed{10.431\text{mg}}$$

$$t=48\text{hr. Au}=2.50 \times 4.89 + 0.05 \times (1.77 + 2.83 + 3.52 + 4.01) = \boxed{12.8315\text{mg}}$$

$$t=72\text{hr. Au}=2.50*5.21+0.05*(1.77+2.83+3.52+4.01+4.89)=\boxed{13.876\text{mg}}$$

$$\text{Relave Au}=1.000*9.2=\boxed{9.2\text{ mg}}$$

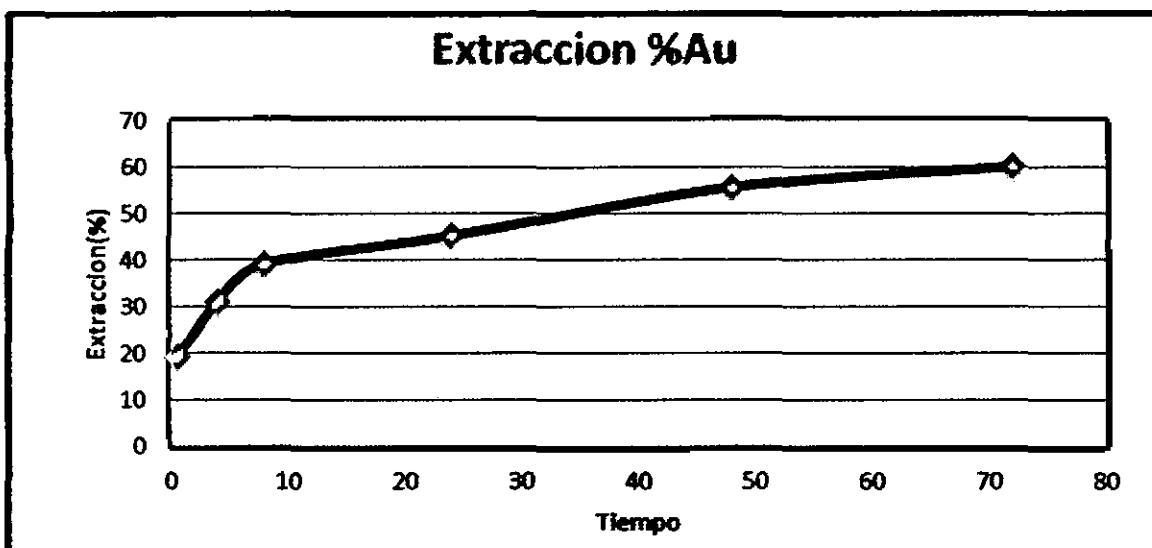
*Extracción Au(%)*

$$\% \text{ Extracción Au} = \frac{\text{Finos Au}}{\text{Fino Cabeza Calculada}} \times 100$$

### Balance Metalúrgico de Oro

<u>Tiempo(hr.)</u>	<u>VOL.SOL.</u> <u>COSECHA(LT)</u>	<u>Au(ppm)</u>	<u>Finos Au</u> <u>(mg)</u>	<u>Extracción</u> <u>Au(%)</u>
<del>0.61</del>	2.50	1.770	4.425	19.1758
<del>4.00</del>	2.50	2.830	7.1635	31.0431
<del>8.00</del>	2.50	3.520	9.03	39.1316
<del>24.00</del>	2.50	4.010	10.431	45.2028
<del>48.00</del>	2.50	4.890	12.8315	55.6054
<del>72.00</del>	2.50	5.210	13.876	60.1317
<b>Relave (kg)</b>	1.000	9.200	9.2	39.8683
<b>Cabeza Calculada(kg)</b>	1.000	23.076	23.076	100
<b>Cabeza Analizada(kg)</b>	1.000	24.710	24.71	

### Gráfica Extracción Vs Tiempo



#### Interpretación:

La recuperación del Au es 60.1317% , este valor nos indica que no es una buena recuperación esto se debe principalmente a que la ley presente en el relave es muy elevada y es equivalente al 40% aproximadamente de la extracción total.

#### *Determinación de cantidad de plata soluble*

$$t=0.6hr. \quad Ag=2.50*2.66=\underline{6.65 \text{ mg}}$$

$$t=4hr. \quad Ag=2.50*6.26+0.05*(2.66)=\underline{15.783 \text{ mg}}$$

$$t=8hr. \quad Ag=2.50*7.55+0.05*(2.66+6.26)=\underline{19.321 \text{ mg}}$$

$$t=24hr. \quad Ag=2.50*8.77+0.05*(2.66+6.26+7.55)=\underline{22.7485 \text{ mg}}$$

$$t=48hr. \quad Ag=2.50*10.64+0.05*(2.66+6.26+7.55+8.77)=\underline{27.862 \text{ mg}}$$

$$t=72hr. \quad Ag=2.50*11.22+0.05*(2.66+6.26+7.55+8.77+10.64)=\underline{29.844 \text{ mg}}$$

$$\text{Relave} \quad Ag=1.000*30.789=\underline{30.789 \text{ mg}}$$

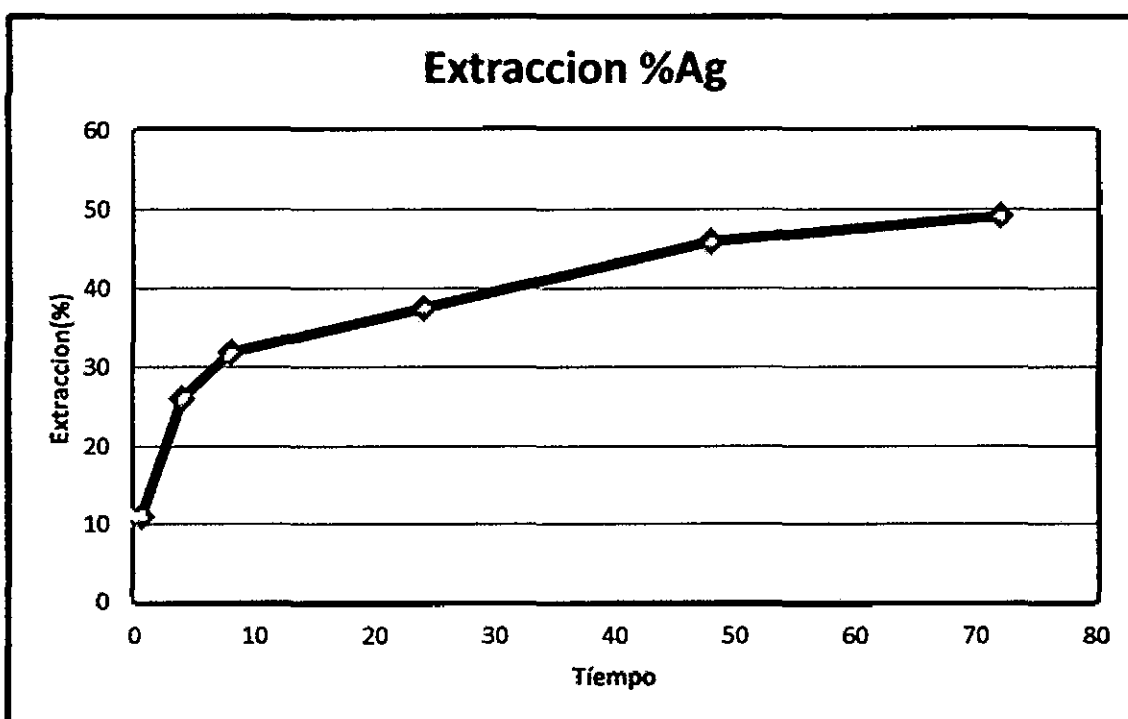
#### *Extracción Ag(%)*

$$\% \text{ Extraccion Ag} = \frac{\text{Finos Ag}}{\text{Fino Cabeza Calculada}} \times 100$$

### Balance Metalúrgico de Plata

Tiempo(hr.)	VOL.SOL. COSECHA(LT)	Ag(ppm)	Finos Ag (mg)	Extracción Ag(%)
0.51	2.50	2.660	6.6500	10.9676
4.00	2.50	6.260	15.7830	26.0304
8.00	2.50	7.550	19.3210	31.8655
24.00	2.50	8.770	22.7485	37.5183
48.00	2.50	10.640	27.8620	45.9519
72.00	2.50	11.220	29.8440	49.2207
Relave(kg)	1.000	30.789	30.7890	50.7793
Cabeza Calculada(kg)	1.000	60.633	60.6330	100
Cabeza Analizada(kg)	1.000	60.645	60.6450	

### Gráfica Extracción Vs Tiempo

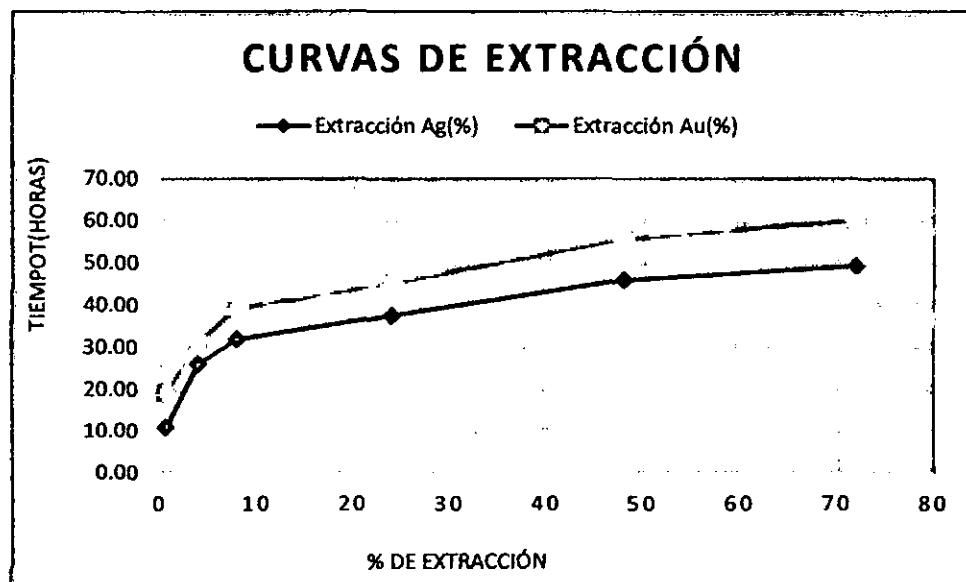


#### Interpretación:

La recuperación del Ag es 49.2207% , este valor nos indica que no es una buena recuperación esto se debe principalmente a que la ley presente en el relave es muy elevada y es equivalente al 50% aproximadamente de la extracción total.

### Curvas Cinéticas De Extracción Del Oro Y La Plata

Tiempo(horas)	Extracción Ag(%)	Extracción Au(%)
0.61	10.9676	19.1758
4	26.0304	31.0431
8	31.8655	39.1316
24	37.5183	45.2028
48	45.9519	55.6054
72	49.2207	60.1317

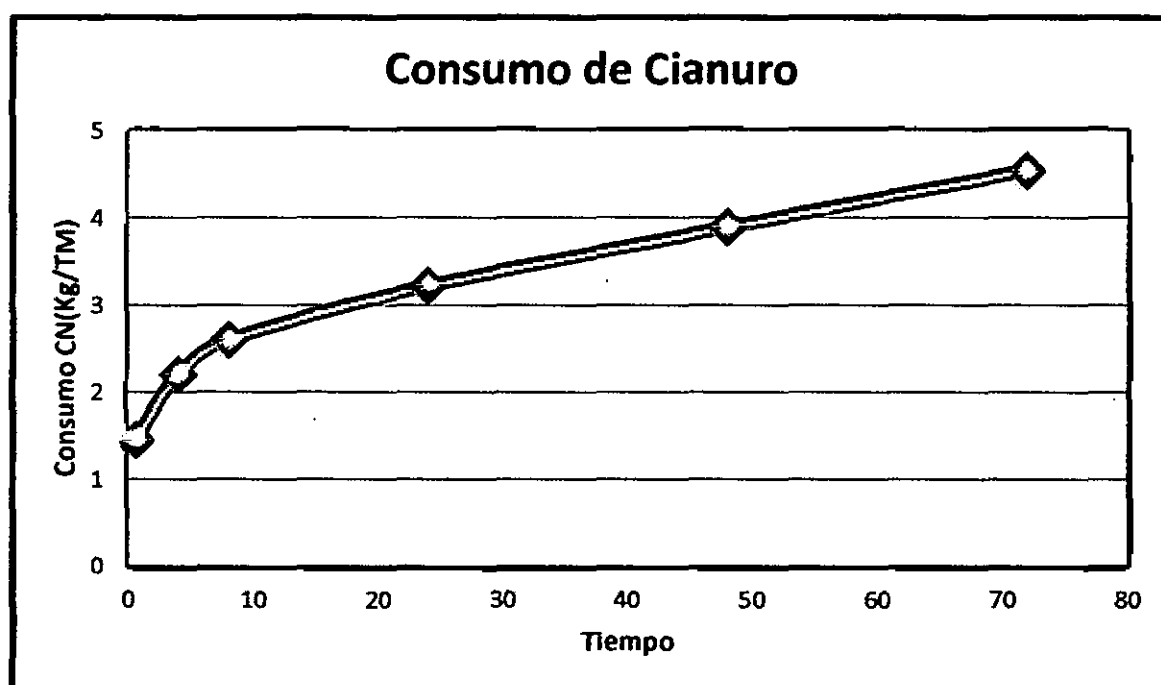


#### Interpretación

- Las muestras analizadas de solución cosecha presentan leyes que se incrementa con respecto al tiempo esto nos indica que nuestra solución cosecha se va enriqueciendo a través del tiempo, esto quiere decir que tendremos mayor cantidad de Au y Ag disuelto.
- Analizando las gráficas de extracción de Au y Ag con respecto al tiempo llega hasta un punto máximo para luego permanecer constante. Sin embargo el aumento mínimo en la recuperación se considera un proceso no rentable.

### Consumo De Cianuro

Tiempo(horas)	NaCN(Kg/TM)	
	Parcial	Acumulado
0.61	1.45	1.45
4	0.75	2.2
8	0.4	2.6
24	0.62	3.22
48	0.67	3.89
72	0.65	4.54



#### Interpretación

- Con respecto a la gráfica de consumo de cianuro con respecto al tiempo, se podría decir que el consumo de cianuro aumenta con respecto al tiempo. Hasta llegar un tope máximo que representa un punto óptimo que es igual a 4.54.
- El consumo de cianuro acumulado utilizado en el experimento va a depender de la fuerza de cianuro establecido en el laboratorio ( $\text{NaCN}=0.1 \text{ gr/TM}$ ).
- Se añadirá cal ya que tiene como objetivo principal lograr una alcalinidad que impida la descomposición del cianuro por efecto de los elementos ácidos presentes en el mineral y del Bióxido de carbono presente en la atmósfera.

## **CAPÍTULO IV:     ANÁLISIS INSTRUMENTAL-ESPECTROMETRÍA DE                           ABSORCIÓN ATÓMICA**

### **4.1.    Objetivos**

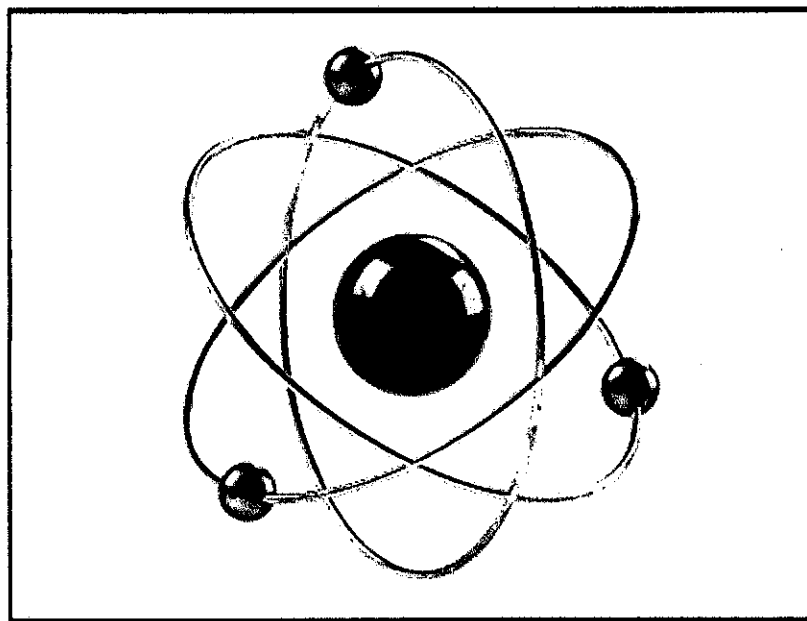
- Determinar el oro en soluciones cianuradas, así como también el contenido de otros metales (cobre, hierro, zinc y plomo) en minerales provenientes de las diferentes Plantas de Procesos de la región, mediante la información de la energía radiante de átomos libres producidos por una flama de combustión que es la base de la espectrometría de absorción atómica.
- Dar a conocer el equipo que para este tipo de análisis utilizamos en la Empresa “Jesús Del Gran Poder”, el Equipo de Absorción Atómica AANALYST 200 – Perkin Elmer.
- La EAA envuelve el estudio y medida de la energía radiante por los átomos libres, los datos obtenidos por el estudio de esta absorción nos brindan información espectroscópica y analítica. La información espectroscópica incluye la medida de los niveles de energía atómica, la población de átomos en varios niveles de energía, tiempo de vida atómica, etc. La información analítica incluye la determinación cualitativa y cuantitativa de los elementos metálicos de la tabla periódica.

### **4.2.    Fundamentos Teóricos.**

#### **4.2.1. El átomo y la espectroscopia de absorción atómica**

El átomo está constituido por un núcleo rodeado por electrones, cada elemento tiene un número específico de electrones que está directamente relacionada con el núcleo atómico y que juntamente con él dan una estructura orbital, que es única para cada elemento. La configuración más estable y de más bajo contenido energético es conocida como estado fundamental y es la configuración orbital normal para el átomo, como se observa en la figura 4-1.

**Fig. 4-1 El Átomo**



Durante el proceso de absorción el electrón de valencia del átomo salta hacia un orbital más alto y se dice que el átomo está excitado. La generación de un átomo en estado basal más un fotón es la base de la espectroscopia de emisión. En esta técnica se mide el número de fotones generados en el proceso de emisión. El proceso inverso de absorción de un fotón por un átomo en estado basal es la base de la espectroscopia de absorción atómica. Sin embargo no se mide el “número de fotones absorbidos o emitidos” lo que se mide es la intensidad de la luz emitida en el caso de la emisión o el porcentaje de luz absorbido en el caso de la absorción

Aunque es posible que ocurran otras transiciones electrónicas, los espectros de absorción atómica de un elemento están constituidos por una serie de líneas de resonancia, todas con origen en el estado basal y con destino en diferentes estados excitados.

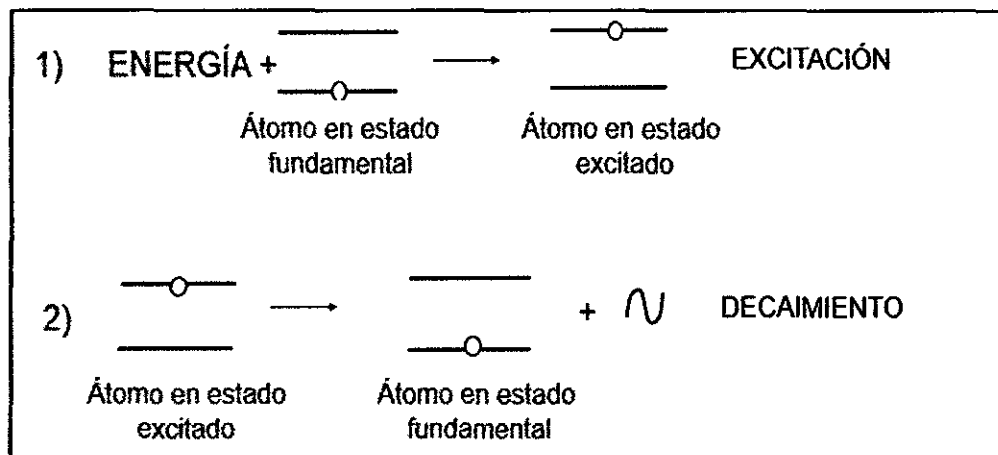
Para que la EAA funcione como un método cuantitativo, el ancho de la línea emitida por la fuente de líneas nítidas debe ser menor que el ancho de la línea de absorción del analito en la flama.



#### 4.2.2 El proceso de absorción atómica

Si a un átomo se le aplica energía de una magnitud apropiada, ésta será absorbida por él e inducirá que el electrón exterior sea promovido a un orbital menos estable o estado excitado. Como este estado es inestable, el átomo inmediata y espontáneamente retornará a su configuración fundamental. El electrón por lo tanto retornará a su órbita inicial estable y emitirá energía radiante equivalente a la cantidad de energía inicialmente absorbida en el proceso de excitación. El proceso se ilustra en la figura 4-2. El paso 1 del proceso de excitación, es producida al suministrar energía. El proceso inverso de decaimiento del paso 2, emisión de luz, ocurre espontáneamente.

**Fig. 4-2 Proceso de excitación y decaimiento**



#### 4.2.3. Ventajas de la absorción atómica

- Puede analizarse hasta 82 elementos
- Es un método altamente específico
- Es altamente sensible
- Presenta un menor número de interferencias
- Menor requerimiento energético que en emisión atómica

#### 4.2.4. Desventajas de la absorción atómica

- Tiene diferentes tipos de interferencias
- Solo se puede analizar elementos de uno en uno

- No se puede analizar todos los elementos del sistema periódico
- Por una técnica de absorción, sus curvas de calibración solo son lineales en un corto rango de concentración.

#### 4.2.5. Espectroscopia atómica basada en atomización por llama

En la atomización por llama, la disolución acuosa de la muestra se dispersa (o nebuliza) como una fina nube, y luego se mezcla con combustible gaseoso y oxidante para arrastrarla al mechero. El disolvente se evapora en la parte inferior, o base de la llama, localizada justo por encima de la cabeza del mechero. Las partículas sólidas finalmente divididas que resultan son arrastradas a la región central de la llama, denominada como interior. Ahí, que es la parte más caliente de la llama, se forman átomos y iones gaseosos a partir de las partículas sólidas. Finalmente los átomos y los iones son arrastrados al borde más exterior, o cono exterior, donde pueden oxidarse los productos de la atomización antes de su dispersión en la atmósfera. Dado que la velocidad a la que pasa a la mezcla combustible/ oxidante a través de la llama es elevada, sólo una fracción de la muestra experimental sufre todos estos procesos. Proceso que tiene lugar durante la atomización.

##### Proceso de atomización por llama

	$M^+ + A^-$ (Solución)
<i>Nebulización</i>	↓
(Dispersa)	$M^+ + A^-$ (Aerosol)
<i>Desolvatación</i>	↓
	$MA$ (Sólido)
<i>Licuafacción</i>	↓
	$MA$ (líquido)
<i>Vaporización</i>	↓
	$MA$ (gas)
<i>Atomización</i>	↓
	$M^0 + A^0$ (gas)
<i>excitación</i>	↓
	$M^*$ (gas)
<i>Ionización</i>	↓
	$M^0 + e^0$ (gas)

#### 4.2.6. Análisis Cuantitativo por Absorción Atómica

- La intensidad inicial de luz  $I_0$  disminuye en una cantidad determinada por la concentración de átomos en la llama.
- La transmitancia se define como la razón de la intensidad final y la intensidad inicial.

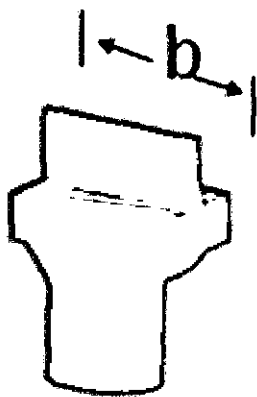
$$T = (I/I_0)$$

- La absorbancia se define como:

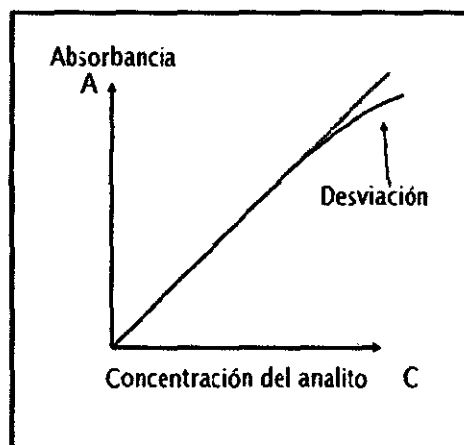
$$A = \log(I_0/I)$$

- Ley de Lambert - Beer

$$A = abc$$

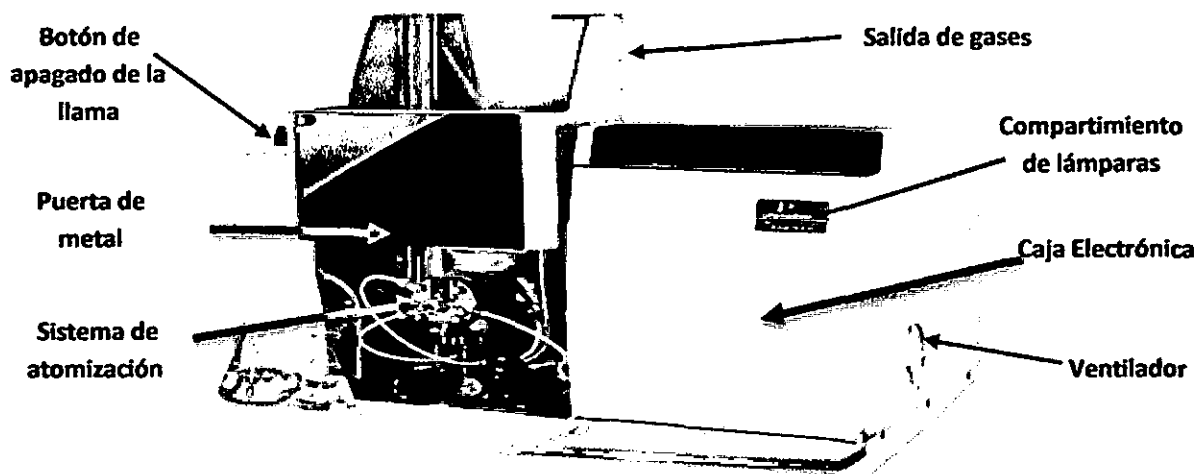


$A$ =Absorbancia  
 $a$ =absortividad  
 $b$ =Longitud del  
Camino óptico (cm)  
 $c$ =Concentración  
(moles/litro)



#### 4.3. Descripción de un espectrofotómetro de absorción atómica

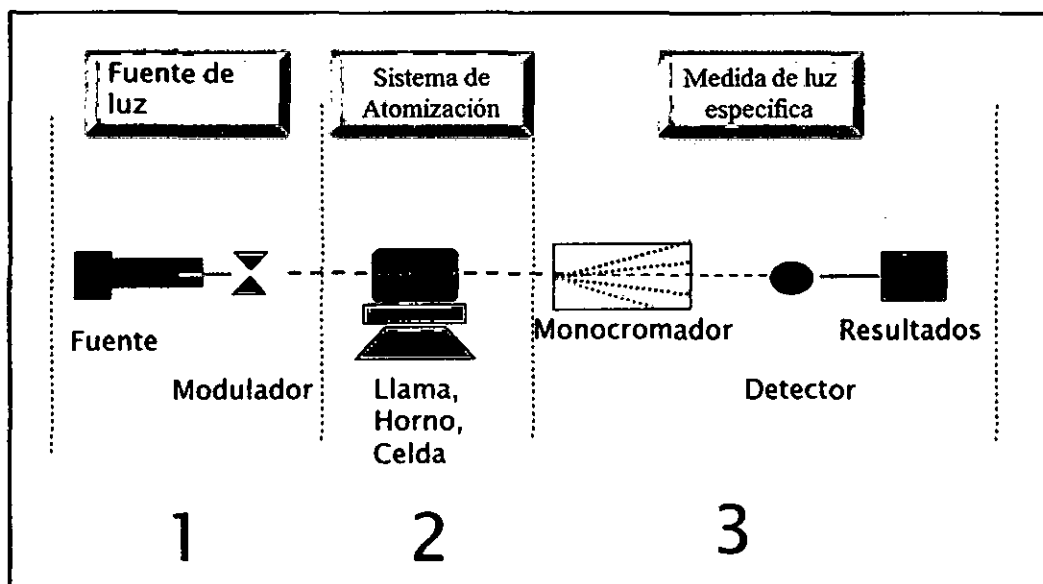
El equipo de absorción atómica marca Perkin Elmer que utilizamos en nuestra empresa es el AANALYST 200 – atomización por llama, del cual presento la siguiente imagen:



##### 4.3.1. Componentes básicos de un instrumento de absorción atómica

Un espectrofotómetro de absorción atómica posee los siguientes componentes básicos:

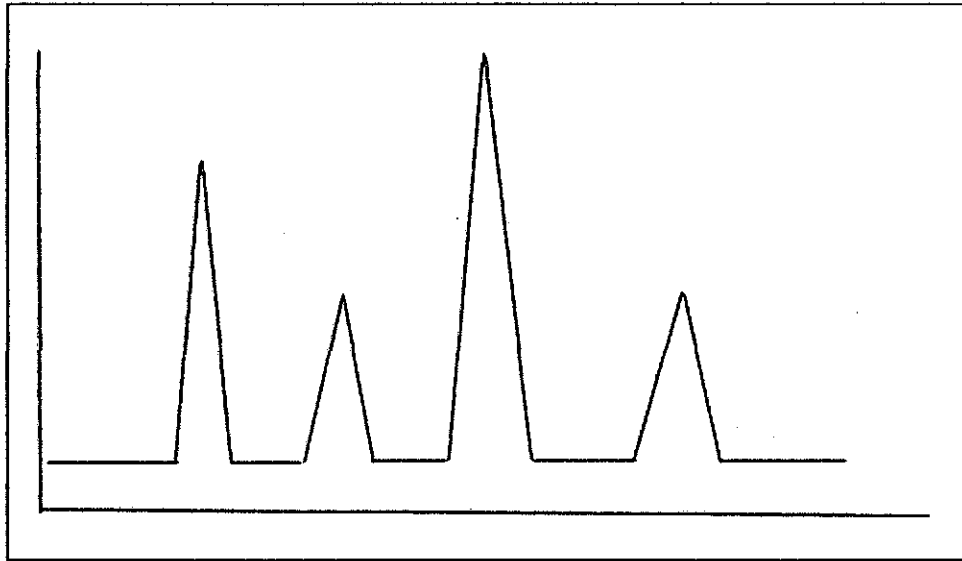
- Fuente de luz.
- Sistema de atomización.
- Sistema dispersor de energía.
- Detector.



#### 4.3.1.1. Fuentes de radiación

Como fuente de energía se utilizan fuentes de emisión discontinuos, es decir emiten únicamente a longitudes de ondas muy concretas, siendo su emisión completamente nula en el resto del espectro, como se observa en la figura 4-3.

**Fig. 4-3. Longitud de Onda: Espectro discontinuo**



##### **Características:**

Toda fuente de radiación debe tener tres propiedades fundamentales:

*Monocromaticidad:* La línea de resonancia se debe poder seleccionar con precisión exactamente a la longitud de onda del elemento a determinar.

*Intensidad:* Deberá ser lo suficiente intensa a la longitud de onda de interés para que pueda ser detectada con una buena relación señal/ruido.

*Estabilidad:* suficiente como para poder realizar las medidas sin fluctuaciones considerables. Estas fuentes se caracterizan por lo siguiente:

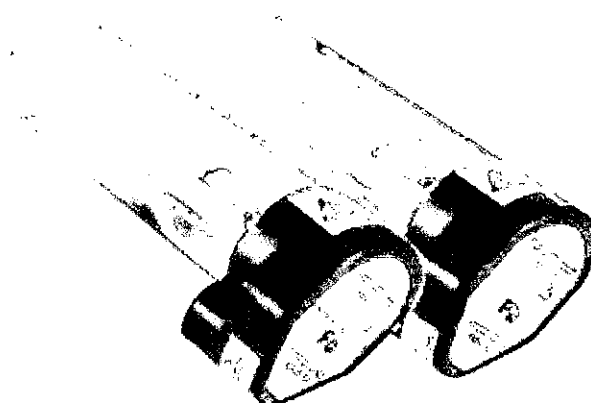
##### **Tipos de lámparas:**

Las fuentes de emisión discontinuos mas utilizados en absorcion atómica son las llamadas lámparas de catodo hueco y las lámparas de descarga sin electrodos.

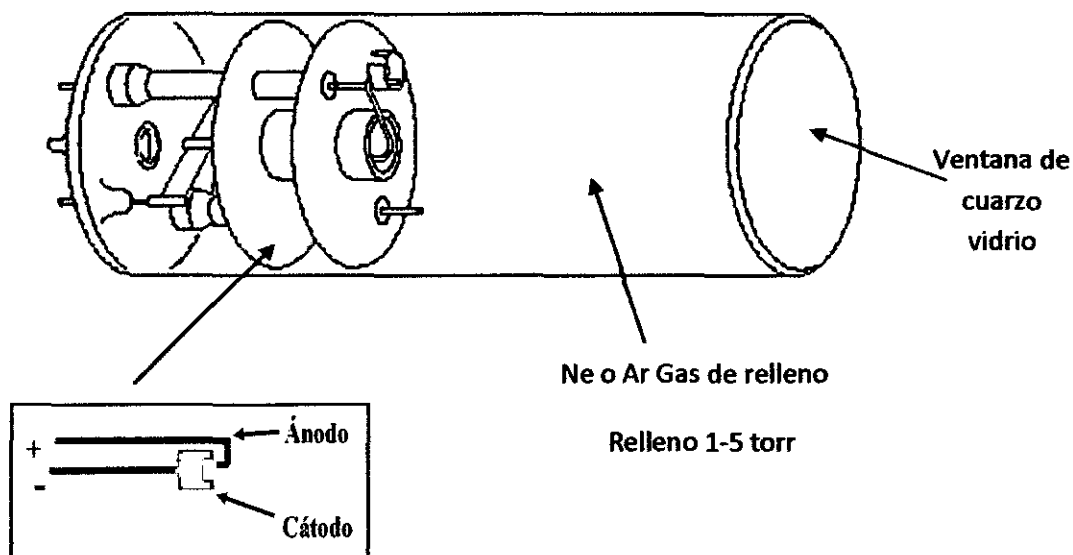
- *Lámparas de cátodo hueco:*

Es la fuente mas común para las medidas de absorción atómica. Este tipo de lampara consiste en un ánodo de tungsteno y un cátodo cilíndrico, cerrado herméticamente en un tubo de vidrio lleno de neón o argón a una presión de 1 a 5 torr. El cátodo esta construido con el metal cuyo espectro se desea obtener, o bien sirve de soporte para una capa de dicho metal

**Lámpara Lumina de Cátodo Hueco**



**Partes de Lámpara de Cátodo Hueco**



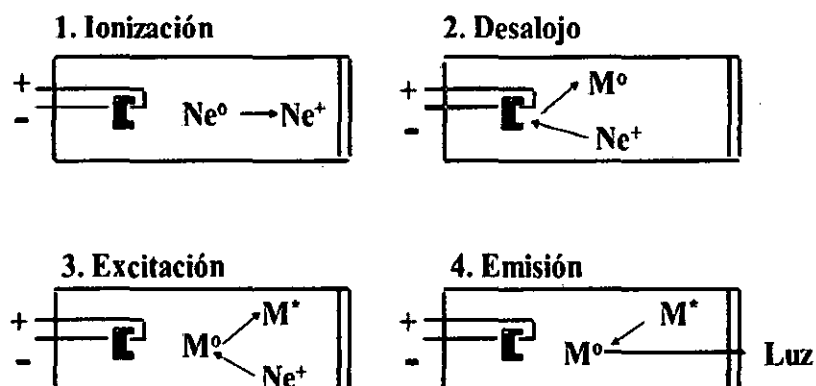
Estas lámparas tienen las siguientes características:

- Simple
- Disponible para todos los elementos
- Estable
- Pureza de emisión
- Durable
- Multielemento

Mecanismo para la producción de luz por la LCH

- Cuando se da corriente a la lámpara, ocurre una descarga entre los dos electrodos, ionizando algunos de los átomos del gas inerte de relleno.
- Luego el cátodo es bombardeado por estos iones de gas inerte, cargado positivamente. Los iones son acelerados hacia la superficie del cátodo por la diferencia de potencial eléctrico existente entre 2 electrodos. Cuando estos cationes chocan con la superficie, cargada negativamente, los átomos metálicos son arrojados desde él mismo hacia la atmosfera gaseosa dentro de la lámpara, en un proceso llamado “desalojo”
- Después los átomos metálicos absorben energía por colisiones con los iones rápidos del gas de relleno, son llevados a estados electrónicos de excitación y, finalmente, regresan al estado basal, emitiendo la radiación característica del cátodo metálico.

#### El Proceso de Emisión en una Lámpara de Cátodo Hueco



- *Lámpara Multielemento:*

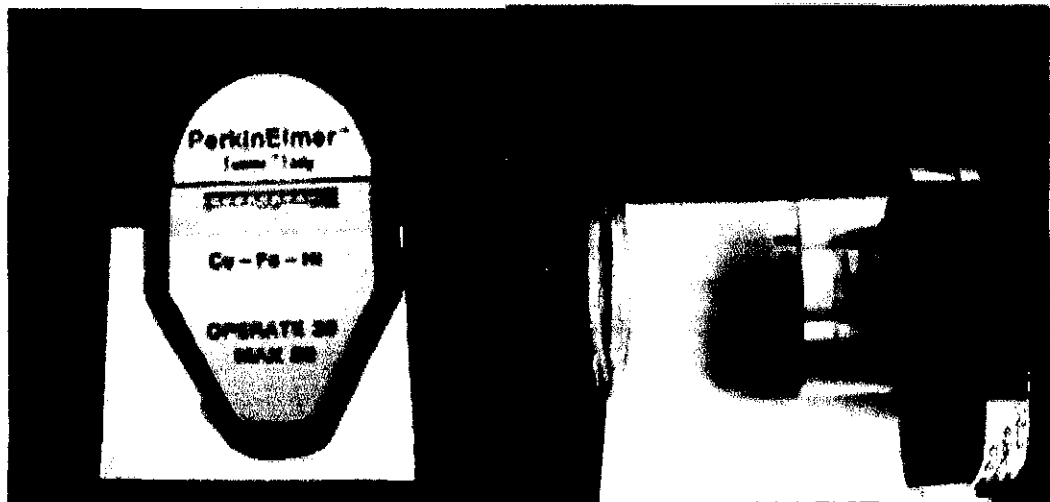
En este tipo de lámpara el cátodo está construida con una aleación de varios elementos, o bien está formada por segmentos de los diversos elementos puros.

Características:

- Limitaciones desde el punto de vista espectroscópico puesto que algunos elementos presentan líneas de emisión muy próximas unas de otras, con la posible generación de interferentes que el monocromador no puede resolver.
- Su tiempo de vida es igual al de las monoelementales (5000 miliamperios/hora)
- La intensidad de emisión para un elemento es baja.
- Reduce el requerimiento de muchas lámparas.

**Lámpara Multielemento**

**Lámparas de Cátodo Hueco**



- *Lámpara de descarga sin electrodos*

Se construye con un tubo de cuarzo herméticamente cerrado que contiene una pequeña cantidad del metal (o su sal), cuyo espectro se desea obtener, y un gas inerte como el argón.

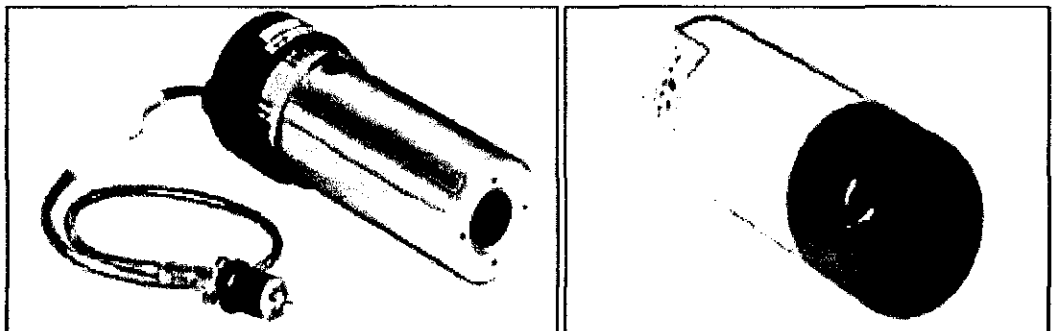
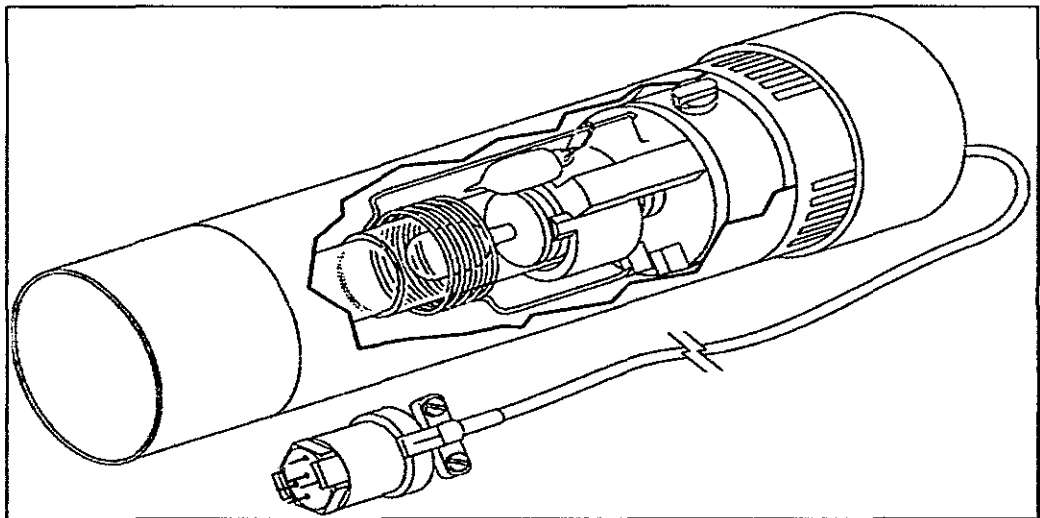


La lámpara no contiene electrodos y, en su lugar, para su activación se utiliza un campo intenso de radiofrecuencias o radiación de microondas. De esta forma se produce la ionización del argón, originándose iones que son acelerados por la componente de radiofrecuencia del campo hasta que se adquieran energía lo suficiente para excitar a los átomos del metal cuyo espectro de desea.

Características:

- Mayor intensidad
- Incremento de la linealidad
- Mejor sensibilidad
- Tiempo de vida largo
- Requiere calentamiento

#### Lámpara de descarga sin electrodos



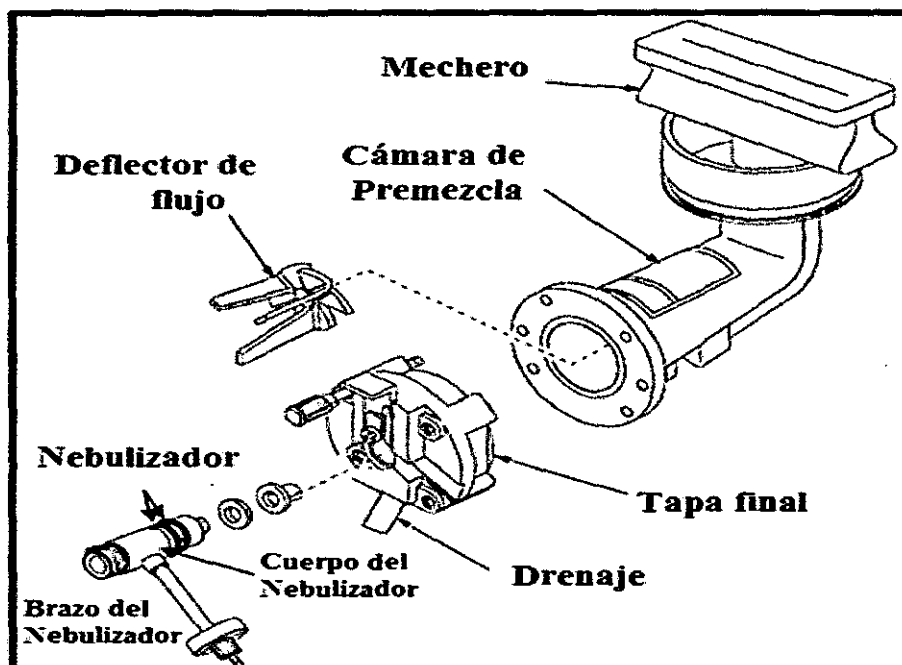
#### 4.3.1.2. Sistema de Atomización

El atomizador es el dispositivo encargado de la obtención de átomos en estado fundamental, sus partes principales son: Nebulizador, Cámara de Premezcla y los Mecheros. Se observa en siguientes figura y esquema.

Atomizador



Partes del atomizador

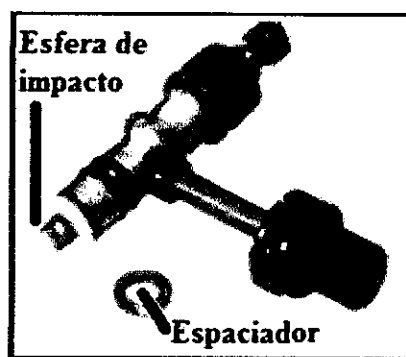


- **Nebulizador**

Es el dispositivo necesario para convertir la solución en una niebla de gotas muy pequeñas. Contiene una esfera de impacto y un espaciador.

*Esfera de impacto (Impact Bead):* la muestra nebulizada choca con la esfera de impacto aumentando la cantidad de partículas que llega al quemador.

*Espaciador (Spacer):* aumenta la distancia de choque de la muestra con la esfera de impacto, y por tanto disminuye la absorbancia.



- **Cámara de premezcla**

La cámara de premezcla consiste de un cilindro hueco fabricado de un material inerte, por lo general polipropileno, en uno de sus extremos se coloca el mechero y en el otro una tapa, donde va insertado el nebulizador, así como las entradas de oxidante y combustible.

Después que la muestra pasa por el nebulizador las gotas pequeñas penetran a un recipiente cerrado llamado cámara de premezcla, allí se prepara la niebla de las gotas más grandes (éstas se van al drenaje), las gotas más pequeñas se mezclan con el oxidante y el combustible y de esta forma alcanzar el mechero, cuya llama suministra la energía necesaria para romper las moléculas en sus átomos y llevarlos al estado fundamental.

**Nota:** es importante mantener la cámara perfectamente limpia y sin fugas para obtener una buena estabilidad en las lecturas y seguridad de operaciones.

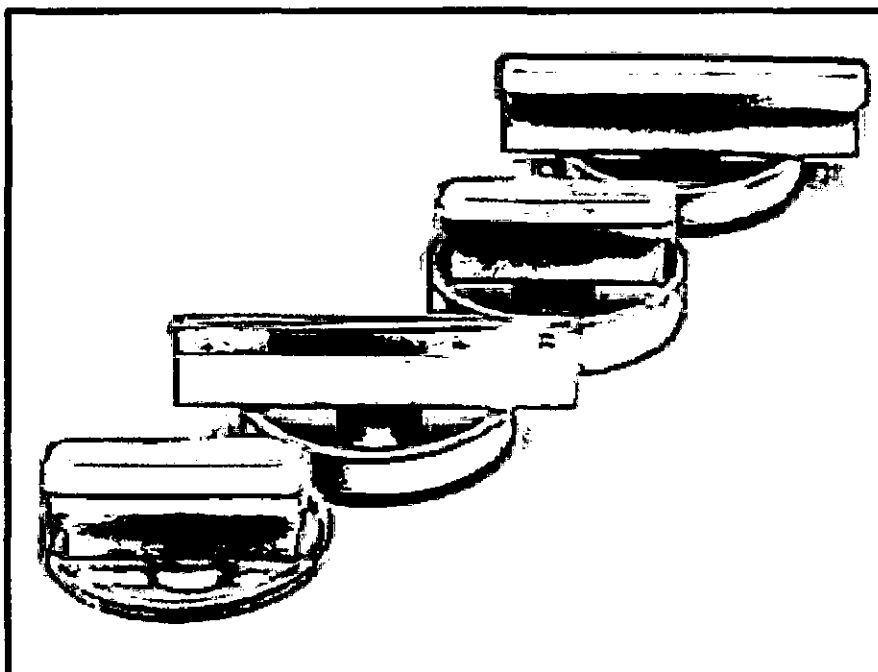
- **Mecheros**

Se llama mechero al dispositivo que está colocado sobre la cámara de premezcla y por donde sale la llama para poder comunicar a las muestras energía suficiente para conseguir el estado atómico del analito.

El mechero estándar es el más utilizado cuando se trabaja con llamas de aire/acetileno. Su camino óptico es de unos 10 cm de largo. Este mechero presenta la mayor sensibilidad que se puede alcanzar utilizando una llama.

El mechero de óxido nítrico está diseñado para trabajar a altas temperaturas, tanto en absorción como en emisión. Su camino óptico es más corto, unos 5 cm. De largo, y la ranura por donde sale la llama es algo más estrecha para evitar que la llama de óxido nítrico/acetileno pueda retroceder y producir una exposición. Puede utilizarse también para trabajar con llama de aire/acetileno, pero su sensibilidad será inferior, ya que el camino óptico es más corto.

**M**



**Llama:** Permite pasar la muestra analizar del estado líquido a estado gaseoso; descompone los compuestos moleculares del elemento de interés en átomos individuales o en moléculas sencillas y excita estos átomos o moléculas.

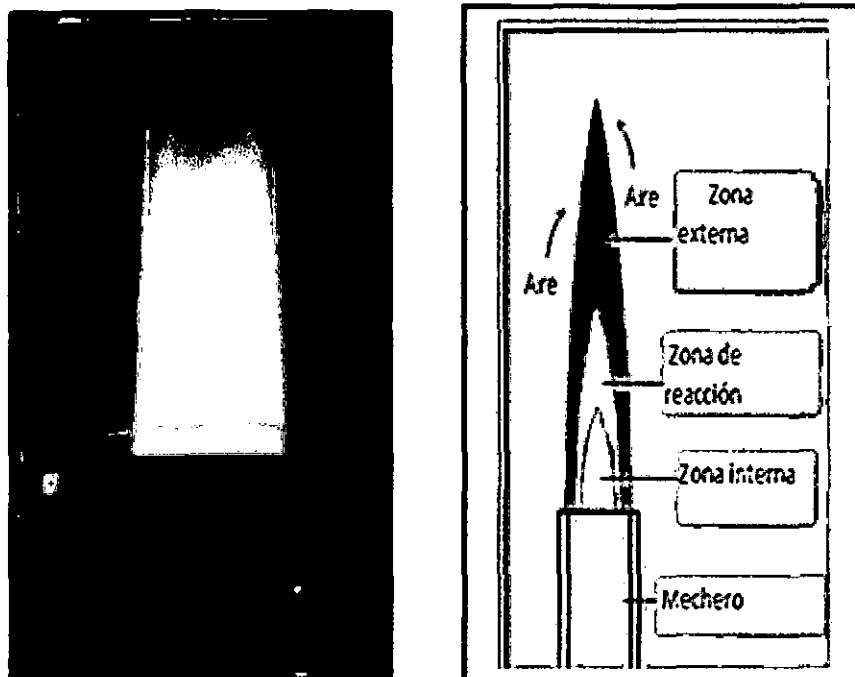
Para que una llama pueda cumplir su función satisfactoria debe tener la temperatura adecuada y que en ella se forme un ambiente gaseoso.

#### *Estructura de la llama:*

Como se puede observar en la figura siguiente, las regiones más importantes de la llama son:

- La zona de combustión primaria: también llamada zona interna; es la más próxima al mechero y es de color azul; poco usada en espectroscopia de llama, su temperatura es relativamente baja. Aquí es donde se volatiliza el disolvente.
- La región interconal: también llamada zona de reacción; esta zona con frecuencia es rica en átomos libres y es la parte de la llama quemada se usa ya que aquí se realiza la atomización.
- Cono exterior: o zona exterior donde los Productos formados en la región inferior se convierten en óxidos moleculares estables.

**Gráfico de estructura de la llama**



### *Tipos de llamas*

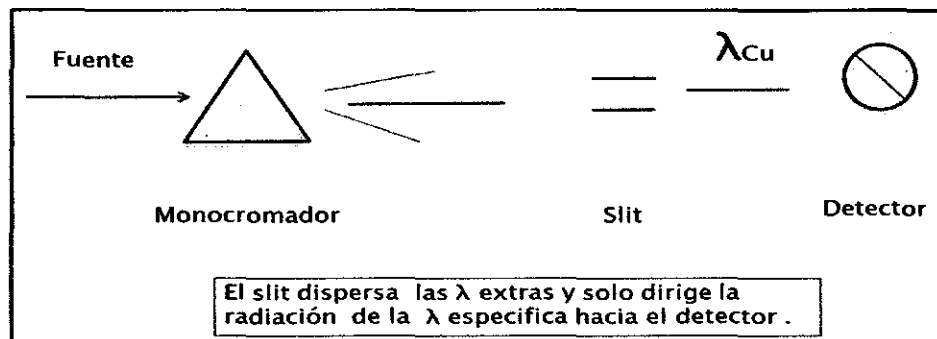
Se aprecia en el siguiente cuadro:

Oxidante – Combustible	Temperatura de llamas °C
Aire -metano	1875
Aire -gas natural	1700-1900
Aire -hidrógeno	2000-2050
Aire -acetileno	2125-2400
O - acetileno	2600-2800

#### 4.3.1.3. Selector de Longitud de Onda (monocromador)

Es el dispositivo que permite separar la radiación emitida por la lámpara y seleccionar la longitud de onda de interés.

Tiene rendijas de entrada y de salida, y una red de filtración o un prisma como elemento dispersor.



Todos los monocromadores de radiación ultravioleta, visible e infrarroja son semejantes en construcción, ya que emplean rendijas, lentes, espejos, ventanas y redes o prisma. Lógicamente los materiales con los que se fabrican estos componentes dependen de la región de longitudes de onda utilizada.

#### Componentes de un monocromador

- Una rendija de entrada que proporciona una imagen óptica rectangular.

- Un lente o espejo colimador que produce un haz paralelo de radiación.
- Un prisma o red que dispersa la radiación en sus longitudes de onda individuales.
- Un elemento de enfoque que forma de nuevo la imagen de la rendija y la enfoca en una superficie plana denominada plano focal.
- Una rendija de salida en el plano focal, que aísla la banda espectral deseada.

Además la mayoría de los monocromadores tienen ventanas de entrada y de salida, cuyo diseño protege a los componentes del polvo y de los humos corrosivos de los laboratorios.

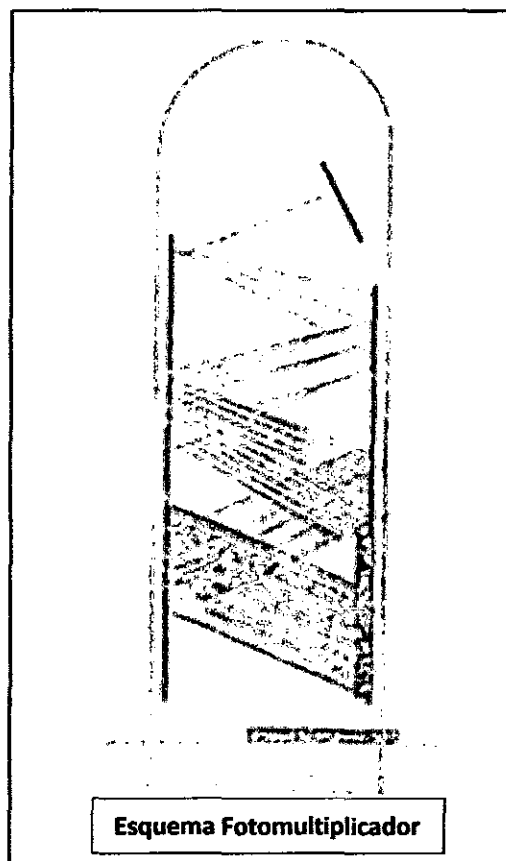
#### 4.3.1.4. Detector de Radiación (Transductor)

Un detector es un dispositivo que indica la existencia de algún fenómeno físico. Por ejemplo el ojo humano es un detector, que convierte la radiación visible en una señal eléctrica, que pasa al cerebro a través de la cadena de neuronas del nervio óptico.

Un transductor es un tipo especial de detector que convierte señales tales como: intensidad de luz, temperatura, etc., en señales eléctricas, que a continuación puede amplificarse, manipularse y finalmente convertirse en números que representan la magnitud de la señal original.

Un transductor ideal de radiación electromagnética responde rápidamente a bajo niveles de energía radiante en un amplio intervalo de longitudes de onda además, produce una señal eléctrica que se amplifica fácilmente y que tiene un nivel de ruido relativamente bajo. Finalmente, es esencial que la señal eléctrica producida por el transductor sea directamente proporcional a la potencia del haz.

Los transductores más comunes son los tubos fotomultiplicadores que son semejantes a un fototubo, pero son mucho más sensibles. Tal como se aprecia en el siguiente esquema:



#### 4.3.1.5. Procesadores y Medidores de Señal

Un procesador de señal es un dispositivo electrónico que amplifica la señal eléctrica del detector y la registra en medidores analógicos (de lectura) registradores, voltímetros digitales o en monitores de sistemas de computación.

#### 4.3.1.6. Dispositivo de Lectura

Para efectuar una medición de absorción atómica se lleva, en primer lugar, la aguja de medidor a una lectura de absorción igual a cero, o de transmitancia igual al 100 % sin introducir muestra en la llama, o aspirando simplemente agua pura (o el blanco) en ella, luego se coloca el capilar en la solución que contiene la muestra, se aspira esta solución hacia la llama y se lee la absorbancia. Los dispositivos actuales de lectura son digitales o ya casi más frecuentemente monitores de un computador.



#### **4.3.2. Sistema Óptico**

Los componentes estudiados antes se pueden montar de diferentes maneras para producir diferentes tipos de diseños de instrumentos usados en medidas espectroscópicas.

Se consideran dos tipos principales de instrumentos espectroscópicos: de Haz Simple y de Doble Haz.

##### **4.3.2.1. Espectrofotómetros de Un Solo Haz**

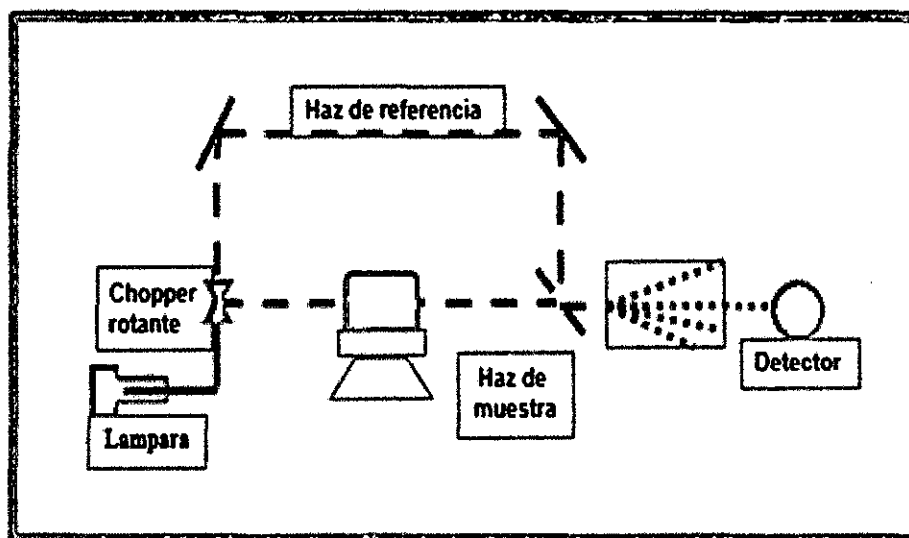
Un instrumento de un solo haz, consiste en la fuente de cátodo hueco, un cortador o una fuente de alimentación de impulsos, un atomizador y un monocromador sencillo de red de difracción con un fotomultiplicador como transductor.

##### **4.3.2.2. Espectrofotómetros de Doble Haz**

La figura siguiente constituye un esquema típico de un instrumento de doble haz.

El haz que proviene de la fuente de cátodo hueco se divide mediante un cortador reflectante, de esta forma una mitad pasa a través de la llama y la otra mitad por fuera de ella. Los dos haces se recombinan mediante un espejo semiplatedado y llegan al monocromador luego a un tubo fotomultiplicador que actúa como transductor.

La salida de éste se utiliza para alimentar un amplificador de cierre sincronizado con el movimiento del cortador. Se amplifica entonces la relación entre las señales de la referencia y la muestra, para finalmente pasar al sistema de adquisición de datos.



#### 4.4. Calibración del Espectrofotómetro de Absorción Atómica para su Operación Analítica.

Consiste en lograr que el instrumento trabaje en condiciones óptimas a fin de obtener resultados correctos y asegurar su operación continua.

##### 4.4.1. Calibración del sistema óptico

- Encender el instrumento.
- Seleccionar la longitud de onda del elemento que se va a utilizar .
- Suministrar energía mínima continua que se indica en la lámpara de cátodo hueco.
- Poner en condiciones de operar el detector de manera que pueda medir la intensidad luminosa de la línea espectral seleccionada (gainh)
- Mover las perillas del soporte del cátodo en direcciones vertical y horizontal, a fin de lograr que llegue la mayor cantidad de la luz al detector lo cual puede verificarse mirando el galvanómetro o algún otro dispositivo de medida (gainh). El ajuste óptimo se logra moviendo finalmente las perillas del selector de longitud de onda y observando el máximo valor en el dispositivo de medida.

#### 4.4.2. Calibración del Atomizador y de los Gases

- Habiendo terminado la calibración del sistema óptico, colocar la superficie del cabezal del atomizador aproximadamente un centímetro bajo la trayectoria del haz luminoso, luego hacer movimientos vertical, horizontal y rotación, de modo que asegure que el haz se ubique encima de la abertura rectangular del cabezal a fin de que ocurra la absorción con mayor eficiencia.
- Suministrar aire y acetileno (en ese orden) al atomizador y luego encender la flama.
- A fin de obtener la máxima eficiencia aspirar una solución del elemento del cátodo que se tiene encendido y teniendo el dispositivo de lectura en modo absorbancia, girar lentamente la perilla del nebulizador hasta obtener una máxima absorbancia. Mover si fuera necesario las perillas de control de gases, también para obtener la máxima absorbancia. Con estas dos calibraciones el instrumento está apto para trabajar analíticamente.



Conexión de gases:

Acetileno=rojo

Aire= negro

Óxido nitroso= azul

#### 4.4.3. Apagado del Equipo de Absorción Atómica

Debe realizarse según la secuencia que se indica:

- Quitar la energía de detector.
- Disminuir la corriente del LCH o LDE hasta cero.

- Cerrar la llave del combustible.
- Cerrar la llave del oxidante.
- Apagar el instrumento colocando el botón en posición (OFF).
- Apagar el sistema extractor de gases.

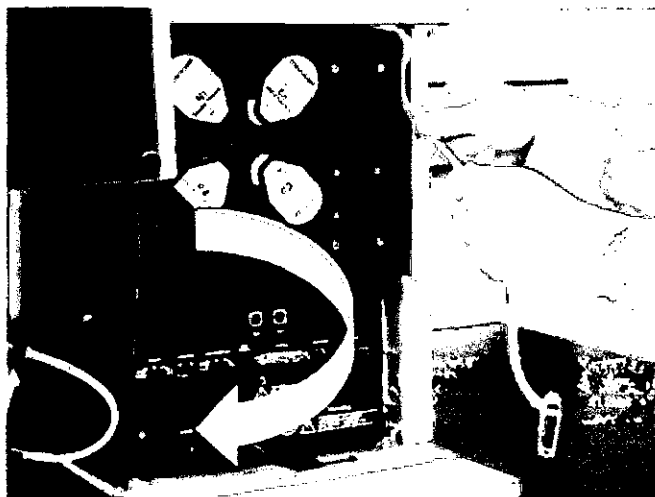
#### 4.5. Factores Instrumentales que Influyen en la Sensibilidad de Un Equipo de Absorción Atómica.

Son los siguientes:

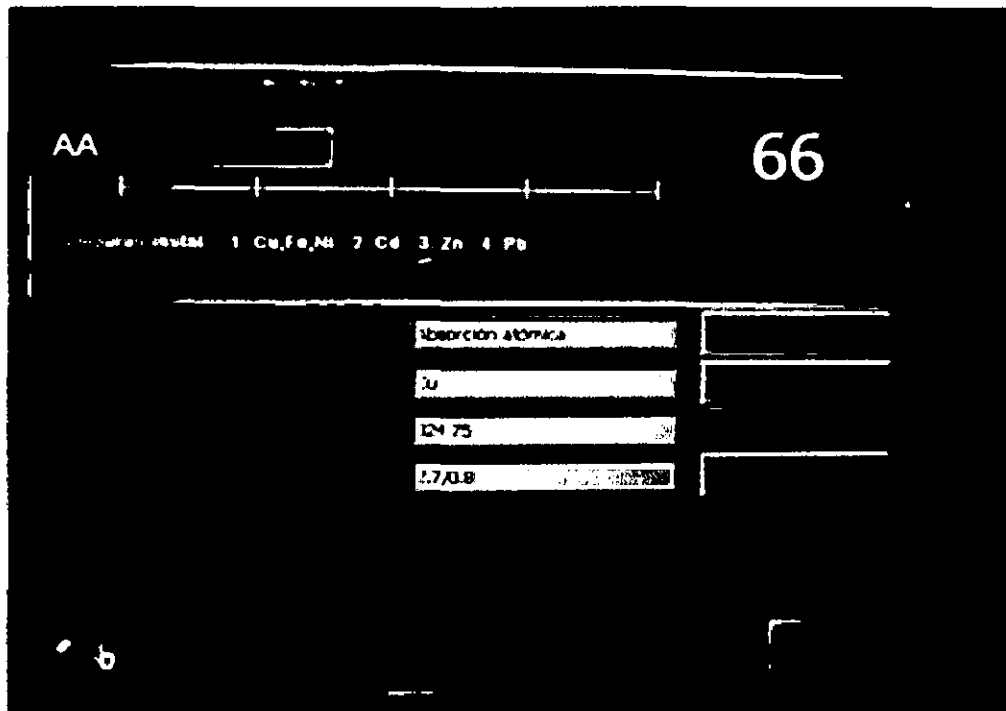
- Longitud del mechero.
- Ancho del haz.
- Temperatura de la llama.
- Relación oxidante/ combustible.
- Caudal de aspiración del nebulizador.
- Naturaleza de la llama.
- Resolución del monocromador.
- Intensidad de corriente de la lámpara.
- Diámetro medio de las gotas en el aerosol.

#### 4.6. Procedimiento de trabajo con el equipo de absorción atómica

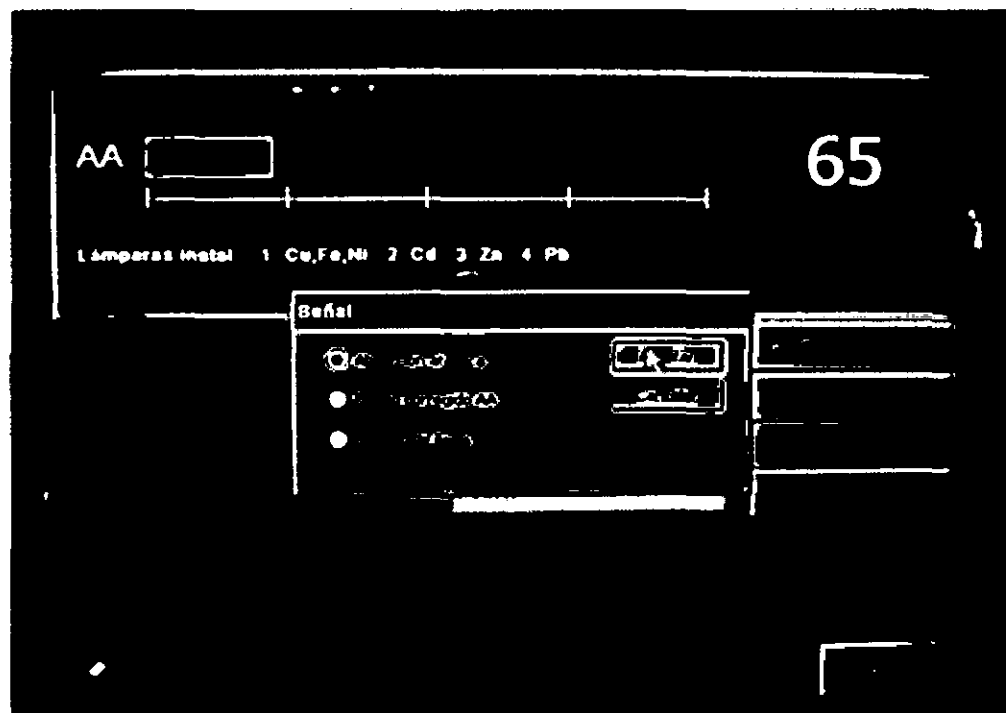
- Encender el equipo con el botón (off/on):



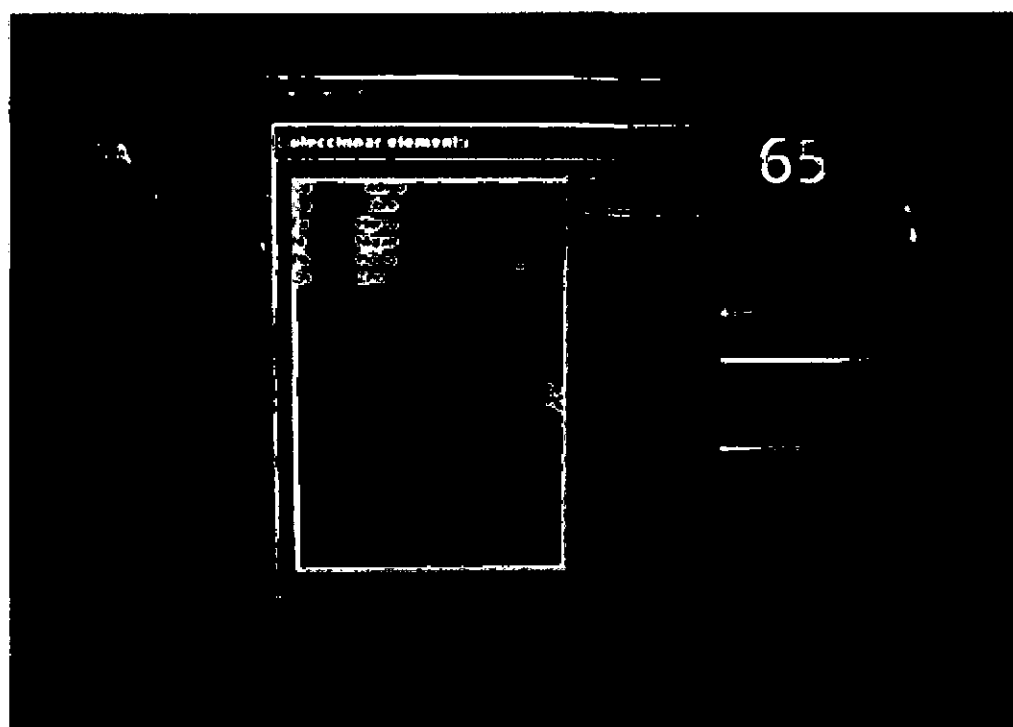
- En el menú lámparas seleccionar:  
Señal-elemento-longitud-ranura



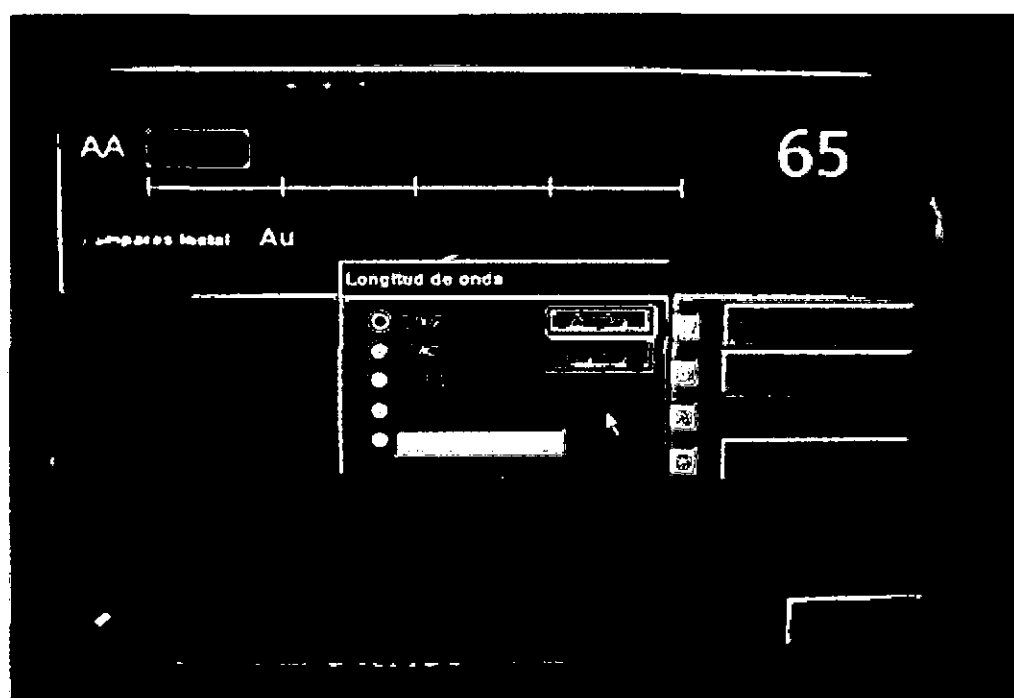
Configuración del instrumento- absorción atómica



## Selección del elemento químico analizar



## Selección de la longitud onda



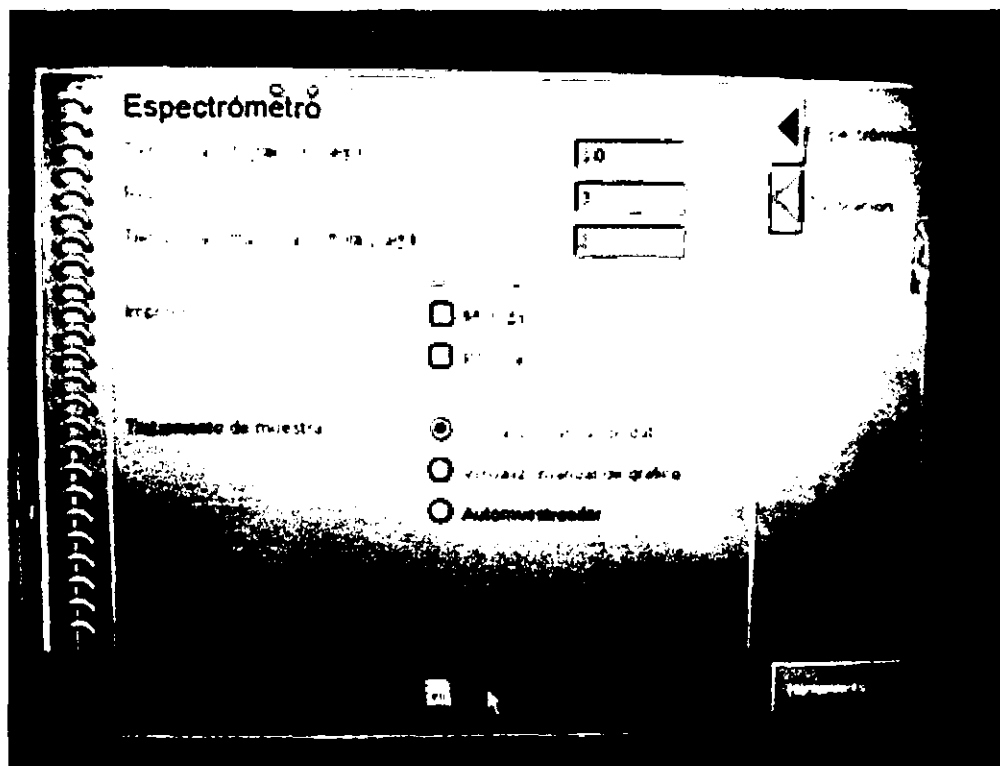
- En el menú parámetros, hay dos sub menús:

### ***Espectrofotometría***

Tiempo de integración.

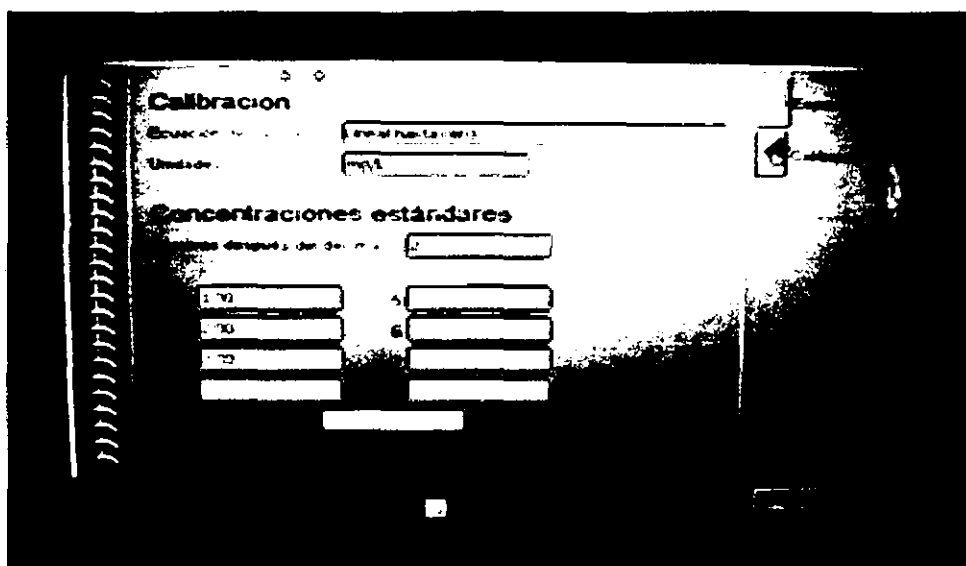
Numero de réplicas a realizarse por ensayo.

Tratamiento de muestras

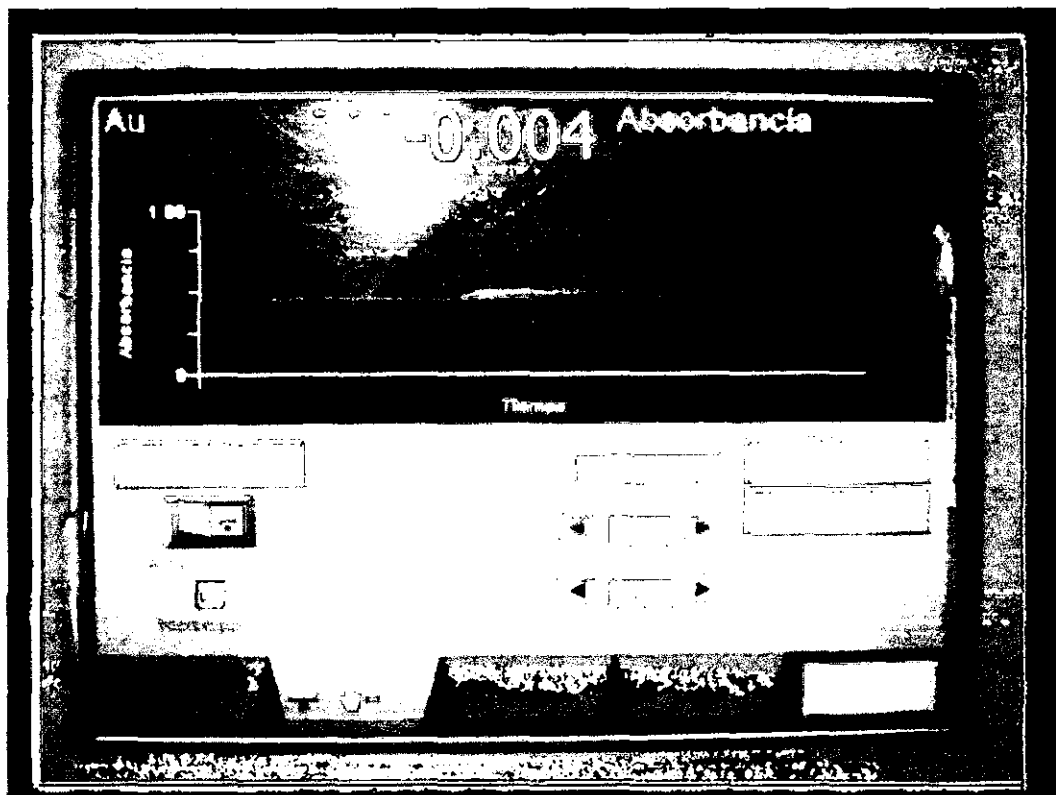


### ***Calibración***

Establecer el tipo de ecuación lineal o no lineal.



- En el menú flama establecemos las condiciones de aire y acetileno que se debe suministrar al equipo, según el elemento a analizar.



- Finalmente en el menú análisis se analizan las muestras.

#### 4.7. Determinación del Oro en Soluciones Cianuradas por EAA

##### 4.7.1. Objetivos

Cuantificar la cantidad de oro soluble en soluciones cianuradas de lixiviación por agitación.

##### 4.7.2. Principio

El Oro soluble en soluciones cianuradas se cuantifica por el método de instrumental absorción atómica.

##### 4.7.3. Reactivos

- Agua destilada.
- Agua Desionizada.
- Hidróxido de sodio G.R.
- Cianuro de Sodio.



#### 4.7.4. Materiales y Equipos

- Matraces volumétricos de 1 L, para preparación de estándares.
- Pipetas volumétricas.
- Tubos de ensayo descartable (16 X 125 mm).
- Tapa descartable para tubo de ensayo.
- Espectrofotómetro de Absorción Atómica AAnalyst 200.

#### 4.7.5. Elementos de Protección Personal

- Lentes.
- Guantes de goma.
- Mandil antiácido.
- Respirador.

#### 4.7.6. Preparación de Standard de Lectura:

- Preparación de solución de cianuro a 1000 ppm
- Pesar 1g de Hidróxido de Sodio (NaOH), en un litro de agua desionizada y agitar con una varilla de agitación hasta verificar un pH de 10.5. A esta solución agregar 1.02g de cianuro de sodio, de acuerdo a su pureza (98%).
- Vaciar a un tubo descartable solución estándar de Au 1000 ppm.
- Tomar con pipeta 1, 3 y 6 ml de solución de 1000 ppm y vaciar a matraces volumétrico de 1000 ml que contenga solución cianurada y, completar a volumen con solución dicha solución, homogenizar, etiquetar y guardar.
- Descartar el remanente que quedó en el tubo de ensayo, nunca devolver al frasco original.

#### 4.7.7. Procedimiento de Lectura de Muestras:

- Agitar los recipientes de muestreo, filtrar y verter la muestra correspondiente en el tubo de ensayo previamente codificado.
- Tapar y ordenar en gradilla.
- Iniciar el software Equipo de absorción atómica.
- Condiciones de Lectura de acuerdo al elemento a analizar
  - Longitud de Onda.
  - Rendija.
  - Flujo de Gas Acetileno.
  - Flujo de Aire.
  - Campana Extractora encendida.

- Hacer clic en “On” de la ventana de control de llama para encender el Quemador.
- Ir a la representación continua.
- Aspirar el blanco de Reactivos y Hacer “AUTO CERO”.
- Aspirar el patrón de 1 ppm de Oro y observar que la absorbancia se aproxime a 0.060 , de lo contrario ajustar con el nebulizador hasta encontrar la absorbancia más estable.
- Calibrar el equipo según el siguiente orden: por ejemplo en caso del Oro.  
Ubicación 1 Blanco Reactivo  
Ubicación del STD1 ( 1 ppm Au).  
Ubicación 3 STD2 (3 ppm Au).  
Ubicación 4 STD3 (6 ppm Au).
- Empezar la corrida de las muestras a analizar.

#### 4.7.8. Control de Calidad.

El analista es el responsable por la correcta ejecución de este procedimiento y la verificación de sus resultados de análisis. Al no contar con material estándar de referencia, se usan los mismos estándares como check del Quality Control, para la comprobación de la estabilidad de la curva y la fijación del cero.

#### 4.7.9. Peligros y Precauciones.

- Leer las hojas de seguridad (MSDS) de cada uno de los reactivos involucrados en este método.
- Almacenamiento y Manipulación de Reactivos y Productos Químicos. Utilizar el EPP adecuado. No use material de vidrio quebrado o estado defectuoso, solo use material de vidrio en perfecto estado.
- Este método involucra el uso de soluciones cianuradas. Luego de terminar el análisis descartar la solución en el vertedero de solución cianurada, disponer los tubos impregnados en bolsas de plástico y colocarlos en el recipiente con el rotulado de “RESIDUOS BASICOS” para su disposición final. No permita el contacto con soluciones ácidas.
- El papel toalla utilizado para limpiar, los guantes y todo material generado en esta tarea deben ser colocados en el recipiente correcto.
- Peligro en equipo de absorción atómica. Lea las instrucciones del manual del fabricante referente a las instrucciones de operación segura del equipo.(Flujo de gases, etc.). Chequear los manómetros

internos y externos de presión de los gases de trabajo del espectrofotómetro.

- Verificar el buen funcionamiento del extractor.

#### 4.8. Determinación de Pb, Zn, Cu y Fe en Muestras Geológicas por EAA

##### 4.8.1. Objetivo

Establecer un método de ensayo para la determinación de Pb, Zn, Cu y Fe en Muestras de geología por Espectrofotometría de Absorción Atómica.

##### 4.8.2. Alcance

El presente procedimiento es aplicado para la determinación de Ag, Pb, Zn, Cu y Fe en muestras de geología realizados en las instalaciones del Laboratorio Químico Jesús de gran Poder S.A.

##### 4.8.3. Responsabilidad

El Jefe del Laboratorio Químico y el Supervisor son responsables del cumplimiento de este procedimiento y de verificar las labores realizadas por el analista de Laboratorio Químico.

El analista es responsable de realizar las labores de análisis en las muestras de cabeza, relave y concentrados, siguiendo los lineamientos establecidos en el presente procedimiento.

##### 4.8.4. Principio del Método

La determinación de cobre, plomo, zinc y fierro se realizan mediante una digestión con ácido Nítrico y ácido Clorhídrico. Este tipo de digestión es aplicable a muestras como: Sulfuros, sulfatos, óxidos, carbonatos y cuando no hay presencia de silicatos, los cuales no son atacados por esta mezcla ácida.

##### 4.8.5. Definiciones

*Digestión:* Transformación de sustancias moleculares en iones.

*Dilución:* Es el procedimiento que se sigue para preparar una disolución menos concentrada a partir de una disolución más concentrada.

##### 4.8.6. Equipos y Materiales

- Equipo de Absorción Atómica.
- Plancha eléctrica con controlador de temperatura.
- Extractor de gases.

- Pizetas.
- Balanza Analítica de 0.1mg de precisión.
- Espátula.
- Vaso de precipitado de 150ml.
- Fiolas de 50 y 100ml.
- Navetas de metal (para pesar muestra).
- Pinza de metal para vasos.
- Embudos.
- Dispensador de ácidos.

#### 4.8.7. Reactivos Químicos

- Ácido Clorhídrico Q.P.
- Ácido Nítrico Q.P.
- Agua Desionizada.

#### 4.8.8. Preparación de Estándares de Lectura

##### *Estandar de 50 y 100 ppm*

- Tomar alícuota de 5 y 10 ml respectivamente de 1000ppm de estándar.
- Verter en fias de 100ml cada una.

##### *Estándar de 20, 10, 2 y 1ppm:*

- Tomar alícuota de 20, 10, 2 y 1ml respectivamente del estándar de 100ppm.
- Verter en fias de 100ml cada una.

##### *Estándar de 5ppm:*

- Tomar alícuota de 10ml del estándar de 50ppm.
- Verter en una fiola de 100ml.

##### *Estándar de 2.5ppm:*

- Tomar alícuota de 5ml del estándar de 50ppm.
- Verter en una fiola de 100ml.

##### *Estándar de 0.5ppm:*

- Tomar alícuota de 10ml del estándar de 5ppm.
- Verter en una fiola de 100ml.

Notas:

- El medio ácido para preparar los estándares es HCl en siguientes concentraciones para: Pb, Zn, Fe, Cu al 10%.
- Los materiales de medición deben estar verificadas, en comparación con un material calibrado.
- No colocar pipeta dentro del estándar de 1000ppm para ello la alícuota requerida de 1000ppm debe ser vertida en vaso de 20ml previo enjuague con la misma solución 2 veces. El excedente desechar.
- Las pipetas deben ser secadas con papel absorbente antes de la medición.
- La agitación de las fioles deben ser enérgicas.

4.8.9. Procedimiento de Preparación de Muestras

- Pesar 0.5000 gr de la muestra de Geología y transferir a vasos de 150 ml.
- Llevar los vasos con muestra en bandejas o porta vasos a la plancha de ataque.
- Encender el extractor de gases.
- Adicionar 15 ml de HNO<sub>3</sub> Q.P y 5 ml HCl usando los dispensadores, tapar con lunas de reloj.
- Llevar a la plancha de ataque, digestar a temperatura de 200°C +/- 5°C hasta formar un precipitado pastoso
- Retirar de la plancha y agregar 25 ml de HCl usando el dispensador, llevar nuevamente a la plancha, hervir por 3 minutos.
- Retirar de la plancha de ataque y enfriar.
- Lavar los bordes del vaso y la luna de reloj con agua destilada utilizando la piceta.
- Transvasar y aforar en fioles de 100 ml y agitar.
- Transvasar en forma ordenada en tubos para lectura.
- Apagar el extractor de gases.
- Realizar la lectura en el equipo de Espectrofotómetro de Absorción Atómica. Según el cuadro N° 1.
- Para el caso de Pb, Zn, Cu y Fe, si la lectura excede a los límites de los estándares, hacer una dilución x10.

Notas:

- Los controles internos o duplicados se reensayan por cada 10 muestras.
- Al lote se ensaya un blanco químico.

- Pesar 0.5000 de los MR de Alimentación y del MR de Relave y ponerlo al final del lote.

**Cuadro de Calibración**

Elementos	Curva de Calibración		
Pb	10.00	25.00	50.00
Pb	5.00	10.00	20.00
Zn	10.00	25.00	50.00
Zn	5.00	10.00	20.00
Cu	2.50	5.00	10.00
Fe	10.00	25.00	50.00
Fe	25.00	50.0	100.0

4.8.10. Cálculos para determinación de Pb, Zn, Cu y Fe

$$mg/l = \left[ \frac{\text{Volumen final} \times (\text{Lectura AA} - \text{Lectura Bk}) \times \text{Factor de dilución}}{\text{Peso de muestra}} \right]$$

$$\% = \left[ \frac{\text{Volumen final} \times (\text{Lectura AA} - \text{Lectura Bk}) \times \text{Factor de dilución}}{\text{Peso de la muestra} \times 10000} \right]$$

$$Oz/tm = \left[ \frac{\text{Volumen final} \times (\text{Lectura AA} - \text{Lectura Bk}) \times 0.03215}{\text{Peso de muestra}} \right]$$

#### **4.8.11. Control de Calidad**



Antes de realizar cualquier ensayo, limpiar bien los materiales a utilizar (vasos, pipetas, fiolas, baguetas, etc.) es necesario mantener este estándar de limpieza puesto que afecta directamente el resultado del ensayo.

#### **4.8.12. Elementos de Protección Personal**

- Lentes
- Guantes de nitrilo
- Mandil antiácido.
- Respirador: con filtro para gases y vapores y cartucho para partículas.

#### 4.9. Reportes de Análisis por EAA en la Empresa “Jesús Del Gran Poder S.A.”

##### Caso 1: Modelo de Reporte de Oro y Plata Total y Cobre por EAA

	<p>Análisis Químico y Metalúrgico De minerales, relaves, carbón Activado, solución y otros.</p> <p>EN: Au, Ag, Cu, Pb, Zn As, Sb, Fe y Mn. Realizados a través de ensayos al fuego y absorción atómica</p> 

REPORTE N°003435

SRES.AMLATMINAS

Le saludamos a nombre de la familia del laboratorio el PACHE, para hacerles llegar el siguiente reporte.

fecha	MUESTRA	oro(g/tn)	plata(g/tn)²	%Cu
03/03/2013	Circuito de flotaciónN°1con.cobre	23,8	389,57	9,79
03/03/2013	Circuito de flotaciónN°2con.oro	61,53	159,81	2,45

fecha	MUESTRA	oro(g/tn)	plata(g/tn)²	%Cu
03/03/2013	flotacion N°2conc.cobre	21,26	395,33	11,16
03/03/2013	flotacion N°1con.de oro	56,83	142,02	2,50

Atte.


.....  
Celia Pasiguan Rivera  
Supervisora

.....  
Oswaldo Gonzales Abad  
Jefe de laboratorio

Dirección: Provincia de El Oro - Cantón Portovelo – Sitio El Pache (Vía Principal s/n )  
Teléfono: (593) 93501416 – email:pache-02@hotmail.com




## Caso 2: Reportes de Determinación de Oro Soluble por EAA



Análisis Químico y Metalúrgico De minerales, relaves, carbón Activado, solución y otros.

EN: Au, Ag, Cu, Pb, Zn As, Sb, Fe y Mn.  
Realizados a través de ensayos al  
fuego y absorción atómica



REPORTE Nº003469

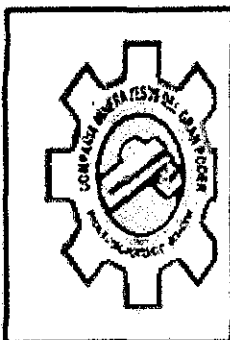
SRES.AMLATMINAS

Le saludamos a nombre de la familia del laboratorio el PACHE, para hacerles llegar el siguiente reporte.

Nº	FECHA	CBZA	COLA
1	10/11/2013	1,59	0,09
2	10/11/2013	1,66	0,16
3	10/11/2013	1,64	0,17
4	11/11/2013	1,54	0,10
5	11/11/2013	1,34	0,68

Nº	FECHA	CÓDIGO	CONC.(g/m <sup>3</sup> )
1	13/03/2013	04-01-1-1-89	0,51
		adriano	
2	13/03/2013	04-01-1-1-90	0,37
		adriano	
3	13/03/2013	04-01-1-1-91	0,28
		adriano	
4	13/03/2013	04-01-1-1-92	0,27
		adriano	
5	13/03/2013	04-01-1-1-93	0,28
		adriano	
6	13/03/2013	04-01-1-1-94	0,41
		adriano	

Dirección: Provincia de El Oro - Cantón Portovelo – Sitio El Pache (Vía Principal s/n)  
Teléfono: (593) 93501416 – email:pache-02@hotmail.com



Análisis Químico y Metalúrgico De minerales, relaves, carbón Activado, solución y otros.

EN: Au, Ag, Cu, Pb, Zn As, Sb, Fe y Mn.

Realizados a través de ensayos al  
fuego y absorción atómica



REPORTE N°003469

SRES.AMLATMINAS

Le saludamos a nombre de la familia del laboratorio el PACHE, para hacerles llegar  
el siguiente reporte.

Nº	FECHA	CBZA	COLA
1	10/11/2013	1,59	0,09
2	10/11/2013	1,66	0,16
3	10/11/2013	1,64	0,17
4	11/11/2013	1,54	0,10
5	11/11/2013	1,34	0,68

Nº	FECHA	CÓDIGO	CONC.(g/m <sup>3</sup> )
1	13/03/2013	04-01-1-1-89	0,51
		adriano	
2	13/03/2013	04-01-1-1-90	0,37
		adriano	
3	13/03/2013	04-01-1-1-91	0,28
		adriano	
4	13/03/2013	04-01-1-1-92	0,27
		adriano	
5	13/03/2013	04-01-1-1-93	0,28
		adriano	
6	13/03/2013	04-01-1-1-94	0,41
		adriano	

Dirección: Provincia de El Oro - Cantón Portovelo – Sitio El Pache (Via Principal s/n )  
Teléfono: (593) 93501416 – email:pache-02@hotmail.com

## CONCLUSIONES

- El grado de molienda de los minerales auríferos, influye en la determinación y cuantificación del oro.
- La Incuartación de la plata metálica, debe realizarse en la etapa de fundición y no, cuando se ha obtenido el doré.
- Los factores que afectan la velocidad de disolución del oro son: concretamente las concentraciones de cianuro y oxígeno, temperatura, pH, área de la superficie del oro expuesta, grado de agitación y transferencia de masa, pureza del oro y presencia de cianicidas.
- Cuando una mena aurífera contiene minerales sulfurados de hierro, tales como pirita, marcasita, pirrotita, es tratada mediante la cianuración, debe tenerse en cuenta que estas especies tienden a descomponerse en la solución cianurada; de la misma forma minerales como arsenopirita, rejalgar y oropimente, entregan productos de descomposición que perjudican el proceso de disolución de los metales preciosos.
- Entre los compuestos intermedios se ha detectado azufre coloidal, tiosulfatos, politionatos, tiocianatos, ferrocianuros, arsenitos, tioarsenitos, arseniatos, etc. que comúnmente se encuentran químicamente unidos al oro y la plata, formando minerales a los que se denominan "*minerales con interferentes cianicidas*". Por su deficiente recuperación de oro-plata representan un crítico problema que afrontan muchas empresas mineras auríferas. En estos casos los minerales y concentrados no responden a los tratamientos convencionales de beneficio, por lo que el tratamiento metalúrgico debe realizarse bajo condiciones que permitan romper los enlaces que impiden la liberación de los metales preciosos.

## **RECOMENDACIONES**

- Por razones de seguridad y para evitar la contaminación de las muestras, asegúrese que los instrumentos y el área de trabajo se mantengan limpios. Esto es especialmente importante cuando se trabaja con elementos tóxicos. Limpiar los derrames de productos químicos de inmediato y disponer de lo recogido y los útiles de aseo adecuadamente.
- Los productos de combustión tóxicos, vapores ácidos o metálicos, pueden ser generados por el sistema, dependiendo del tipo de análisis. Por lo tanto, se debe contar con un eficiente sistema de ventilación.
- La presión mínima del balón de acetileno que se recomienda usar es de 75 psi, esto, debido a que el acetileno se encuentra disuelto en acetona y a menor presión podría ingresar acetona al equipo con los daños consiguientes.
- La llama aire acetileno es la más utilizada universalmente, para aquellos elementos fáciles de atomizar (Cu, Pb, K y Na como ejemplo).
- Las lámparas de cátodo hueco (HCL) pueden colocarse en las cuatro posiciones fijas del equipo. Las lámparas de descarga sin electrodo (EDL) solo se colocan en la posición 1 y 2. Estas lámparas necesitan estar adaptadas a un driver (seguro) **(a)**, se coloca el codificador para reconocimiento del elemento en el software **(b)**, e insertar el cable conector en la parte posterior del equipo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- J.C. Vanloon, RR Barevfoot, Analytical Methods for Geochemical Exploration, Academic. Press, Inc San Diego California 1989.
- Norma Técnica Peruana ITENTEC 122.013- Diciembre 1974.
- International Standard ISO 10378.
- J.C. Vanloon, RR Barevfoot, Analytical Methods for Geochemical Exploration, Academic. Press, Inc San Diego California 1989.
- BF. Arbogast, Quality Assuranci Manual for the Branch of Geochemistry U.S. Geological Survey, Denver 1990.
- Módulo de Ánàlisis Minerales por Absorción Atómica - Tecsup.
- Metalurgia del Oro  
Autor: Fidel Sergio Misari Ch. Centro de estudios en ciencias de la tierra CEPECT.
- Metalurgia del Oro y la Plata.  
Autor: Ing. Juan Vargas Gallardo.
- Manual de Perkin Elmer.